



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DELLA  
**Tuscia**

**DAFNE – Dipartimento di Scienze e Tecnologie per  
l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia**

**Dottorato di Ricerca in Ingegneria dei Sistemi Agrari e  
Forestali - XXVI Ciclo**

**TITOLO TESI DOTTORATO DI RICERCA:**

**"Studio ed analisi di un impianto di  
evapotraspirazione applicato in serra"**

**(SSD:ING/IND 09)**

**Dottoranda di ricerca:**

Luca Mizzelli

**Coordinatore del Corso:**

Prof. Massimo Cecchini

**Tutor:**

Prof. Maurizio Carlini

*A.A. 2014/2015*



# Abstract

## Studio ed analisi di un impianto di evapotraspirazione applicato in serra

L'acqua è una risorsa naturale di fondamentale importanza, rinnovabile ma limitata. La sua richiesta, in termini di fabbisogni, è aumentata negli ultimi decenni; Un'accurata gestione del servizio idrico nelle fasi di apporto, nel consumo e in fase di scarico, potrebbe permetterne la riduzione sul consumo globale.

L'acqua può essere alterata da diverse fonti d'inquinamento per questo motivo è necessario che l'acque reflue vengano ridotte dalle sostanze inquinanti presenti, prima che esse siano scaricate in fognatura oppure nei corpi idrici. Il ricorso a tecniche di depurazione naturale risulta sempre più frequente, soprattutto per il trattamento dei reflui prodotti da piccoli insediamenti.

Attraverso la presente ricerca, si è cercato di analizzare le tecniche ed il comportamento di alcuni impianti fitodepurazione con vassoio assorbente (Evapotraspirazione), esistenti e funzionali, presenti nel territorio oggetto di studio, con l'obiettivo di quantificare il miglioramento della resa depurativa, riferita alla superficie per AE, di un sistema evapotraspirativo integrato con greenhouse ET System.

Alla luce dei valori ricavati, possiamo affermare che un impianto di ET integrato con *Greenhouse ET System*, migliora la capacità di smaltire il refluo domestico di un valore prossimo al 20%.

Il fine ultimo di conoscere l'incremento potenziale della capacità ET, è quello di avere come risultato la possibilità di progettare impianti con vasche non più sovradimensionate, necessarie per far fronte alla riduzione fisiologica dell'evapotraspirazione della vegetazione nel periodo sfavorevole, accompagnata dall'aumento delle precipitazioni.

**Parole chiave:** Fitodepurazione, evapotraspirazione, inquinamento acque, depuratori, reflui

## Study and analysis of a evapotranspiration plant applied in the greenhouse

Water is a natural resource of vital importance, renewable but limited. In recent decades its request, in terms of needs, has increased in recent decades; Careful management of water in the early stages of supply, consumption and exhaust phase, could allow for reduction in the global consumption.

The water can be affected by various sources of "pollution this is the reason why it is necessary to reduce the waste water from pollutants before discharging it into the sewer system or water bodies. The use of natural purification techniques is increasingly frequent, especially for the treatment of wastewater produced by small settlements.

Through this research, we tried to analyze the technical and the behavior of some plants fitodepurazione tray with absorbent (Evapotraspirazione), existing and functional, in the area under study, with the aim of quantifying the yield improvement purifying, referring to the surface for AE, a system integrated with greenhouse evapotranspiration ET System.

In light of the values obtained, we can state that a system integrated with Greenhouse ET ET System, improves the ability to dispose of the wastewater of a domestic value close to 20%.

The ultimate goal of knowing the potential increase of the ET capacity, is to have as a result in the possibility to design systems with tanks no more oversized, required to cope with the physiological reduction in of the vegetation evapotranspiration during the adverse period combined to an increase of precipitation.

**Keywords:** Phytoremediation, evapotranspiration, water pollution, treatment plants, wastewater



# INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>6</b>
1.1	Aspetti generali	6
1.2	La depurazione	10
1.2.1	Cenni sulle principali tecniche impiantistiche di depurazione	11
1.2.1.1	<i>Sistemi a biomassa adesa</i>	12
1.2.1.2	<i>Sistemi a biomassa sospesa: fanghi attivi, SBR, MBR</i>	14
1.3	Depurazione con tecniche naturale e con tecniche impiantistiche	17
1.3.1	Fitodepurazione estensiva	19
1.3.2	Fitodepurazione diffusa	19
1.3.3	Fitodepurazione localizzata	22
1.4	Inquinamento delle acque	23
1.4.1	Principali parametri che caratterizzano un'acqua reflua	24
1.4.1.1	<i>Parametri fisici</i>	25
1.4.1.2	<i>Parametri chimici</i>	25
1.4.1.3	<i>Parametri biologici</i>	32
1.4.2	Monitoraggio delle acque superficiali	33
1.5	Calcolo del numero di abitante equivalente A.E.	34
1.6	Scopo della ricerca	37
<b>2</b>	<b>SISTEMI DI FITODEPURAZIONE</b>	<b>39</b>
2.1	Sistemi a flusso sommerso	40
2.1.1	Sistemi a flusso sommerso orizzontale (Horizontal Flow – HF)	41
2.1.2	Sistemi a flusso sommerso verticale (Vertical Flow – VF)	43
2.1.3	Vassoi assorbenti	46
2.2	Sistemi a flusso libero ( free water system – FWS)	48
<b>3</b>	<b>IMPIANTI AD EVAPOTRASPIRAZIONE</b>	<b>51</b>
3.1	Generalità sugli impianti ad evapotraspirazione	51
3.2	Piante utilizzate negli impianti ad evapotraspirazione	52
3.3	Principali componenti di un impianto ET	53
3.3.1	Grigliature	55
3.3.2	Fossa Imhoff	56

3.3.3	Pozzetto con sifone automatico di cacciata	57
3.3.4	Rete di distribuzione	59
3.3.5	Vasca di evapotraspirazione	59
3.3.6	Pozzetto di ricircolo	62
3.4	Vantaggi e svantaggi degli impianti ad ET	63
4	LEGISLAZIONE	66
4.1	Introduzione	66
4.2	Quadro di riferimento europeo	68
4.3	Leggi nazionali	70
4.4	Leggi regionali	72
4.5	Delibere regionali di particolare interesse ai fini tutela acque	73
5	DESCRIZIONE IMPIANTO OGGETTO DELLA RICERCA	74
5.1	Generalità sull'impianto oggetto di ricerca	74
5.2	Descrizione LAY-OUT impianto evapotraspirativo	76
5.3	Calcolo dei flussi	79
5.4	GreenHouse ER system	81
5.5	Funzionamento ed automatizzazione impianto ET	83
6	ELADORAZIONE DATI	85
6.1	Caratteri climatici	85
6.2	Descrizione metodo campionamento	92
6.3	Analisi dei risultati sperimentali	95
7	CONCLUSIONI	107
	Bibliografia	110



# Capitolo 1

## 1 Introduzione

### 1.1 Aspetti generali

L'acqua è una risorsa naturale di fondamentale importanza, rinnovabile ma limitata. La sua richiesta, in termini di fabbisogni, è aumentata negli ultimi decenni, causa la crescita della popolazione mondiale, lo sviluppo degli agglomerati urbani, delle realtà produttive, ma anche per aspetti culturali e sociali.

Una accurata gestione del servizio idrico nelle fasi di apporto, nel consumo e in fase di scarico, potrebbe permetterne la riduzione sul consumo globale. Per questo motivo la ricerca di soluzioni e di regole sono diventate necessarie e utili per la salvaguardia di questo bene fondamentale, tanto che nel 1968 il Consiglio d'Europa ha posto 12 regole formulando così la Carta Europea dell'acqua.

Il punto cinque, definisce quanto segue: "Quando l'acqua dopo essere stata utilizzata, è restituita all'ambiente naturale, deve essere in condizioni da non compromettere i possibili usi dell'ambiente, sia pubblici sia privati." (Consiglio d'Europa, 6 maggio 1968)



L'acqua può essere alterata da diverse fonti d'inquinamento, raggruppate in urbane, industriali, agricole, per azione di ruscellamento e da eventi piovosi.

Gli insediamenti urbani producono reflui, in quantità variabile nel corso dell'anno, in funzione alla popolazione e all'uso di acqua di lavaggio. La frazione solida è una mistura di saponi, particelle terrose, carta, urine, residui alimentari e feci. Le acque reflue di origine industriale, invece, sono molto eterogenee, sia per composizione sia per concentrazione; essi possono essere biodegradabili, scarsamente o per nulla degradabili.

I reflui agricoli, sono principalmente biodegradabili, e i parametri che più meritano attenzione, sono N nitrico, fosfati, sostanze organiche, in zone a elevata concentrazione zootecnica e fitofarmaci.

Infine l'inquinamento dovuto a ruscellamento (run-off), e a piogge intense, si presenta come evento sporadico, quindi difficile nella previsione, della concentrazione dei volumi inquinanti e nel loro calcolo.

Per questa serie di motivi è necessario che le acque reflue vengano ridotte dalle sostanze inquinanti presenti, prima che esse siano scaricate in fognatura oppure nei corpi idrici. Tale processo, è chiamato depurazione ed è stato regolato dai Decreti legislativi 152/99, poi dal 258/00 e oggi dal 152/06. [1]

La riduzione del carico inquinante per diminuire l'impatto sui corpi idrici e raggiungere, quindi, lo stato di buona qualità delle risorse idriche, rappresenta una delle priorità in campo ambientale. A tal fine occorre dotarsi di una efficace rete di depurazione.

Nonostante l'attenzione riservata da tempo alla depurazione delle acque reflue, gli impianti di trattamento presenti sul territorio nazionale risultano tuttora insufficienti

a soddisfare la necessità depurativa dell'intero territorio nazionale, sia per quanto riguarda la capacità di trattamento sia per l'incompletezza e/o inadeguatezza delle reti di collettamento.

Oltre il 20% delle acque reflue non depurate in Italia proviene da piccole e piccolissime comunità, cioè da agglomerati urbani con meno di 2.000 abitanti equivalenti (A.E.), per i quali spesso non risulta economicamente conveniente effettuare il collettamento dei reflui ed il loro recapito nei depuratori consortili. Per queste comunità, infatti, la scelta della configurazione impiantistica da adottare non può prescindere da una valutazione costi/benefici, che spesso evidenzia la difficile realizzabilità di impianti tecnologici.

In tale contesto, le tecniche di depurazione naturale e, in particolare, quelle di fitodepurazione assumono un'importanza fondamentale e, sovente, rappresentano una soluzione possibile alle problematiche depurative altrimenti difficilmente affrontabili e risolvibili.

Il ricorso a tecniche di depurazione naturale risulta sempre più frequente, soprattutto per il trattamento dei reflui prodotti da insediamenti i cui carichi sono soggetti a forti fluttuazioni nel tempo (campeggi, hotel, agriturismi, residence, etc.). In Italia, a partire dal 1990 sono stati realizzati oltre un migliaio di sistemi di fitodepurazione (comprendenti sistemi a flusso sub superficiale orizzontale e verticale e sistemi a flusso libero). La maggior parte degli impianti è stata realizzata al Centro e al Nord Italia [2].

Le tecniche di depurazione naturale, anche se caratterizzate da forme di gestione più semplici ed economiche rispetto ai processi convenzionali realizzati attraverso impianti di piccola o media entità, non devono tuttavia rimandare ad un approccio

semplicistico, in particolare considerando la complessità e la variabilità delle situazioni che si possono incontrare, sia in relazione ai processi che sottendono la depurazione, sia alla normativa che disciplina la tutela dei corpi idrici.

## **1.2 La depurazione**

Le attività umane sociali, produttive e ricreative richiedono e utilizzano una grande quantità di acqua. Questo comporta la produzione di scarichi che, per poter essere restituiti all'ambiente, devono necessariamente essere sottoposti ad un trattamento depurativo. Le acque reflue presentano importanti problemi di smaltimento a causa della presenza sempre più ampia di composti chimici di origine sintetica, impiegati prevalentemente nel settore industriale. Anche le acque meteoriche di prima pioggia nel caso in cui dilavino superfici impermeabili venute a contatto con agenti inquinanti si arricchiscono di sostanze che devono essere rimosse tramite processi depurativi. Non è possibile per mari, fiumi e laghi ricevere una quantità di sostanze inquinanti superiore alla propria capacità autodepurativa senza che venga compromessa la qualità delle acque e l'equilibrio dell'ecosistema.

Il trattamento di depurazione consiste in una serie di processi durante i quali dall'acqua reflua vengono rimosse le sostanze indesiderate. Le diverse fasi prevedono: pre-trattamenti, trattamenti primari, trattamenti secondari e terziari.

I pre-trattamenti sono di tipo meccanico e hanno la funzione di eliminare materiali di dimensioni grossolane, sabbie e oli attraverso grigliatura, dissabbiamento e disoleatura dal refluo.

I trattamenti primari hanno lo scopo principale di rimuovere le sostanze sedimentabili. I più comuni per piccole comunità fino 100 abitanti sono rappresentati da fosse settiche.

I trattamenti secondari possono essere di tipo biologico o di tipo chimico, rimuovendo i primi la frazione disciolta e colloidale delle sostanze organiche e i secondi per precipitazione le sostanze colloidali ed inorganiche.

Tra i trattamenti biologici si distinguono quelli a biomassa sospesa come i fanghi attivi e i sistemi di fitodepurazione a flusso superficiale in cui i batteri si sviluppano formando colonie di microrganismi oppure sistemi a biomassa adesa dove i batteri si sviluppano aderendo a un materiale di supporto (ad esempio ghiaia) come i filtri percolatori, i biodischi e i sistemi fitodepurazione a flusso sommerso.

I trattamenti terziari sono utilizzati se necessario come finissaggio per l'abbattimento spinto di azoto e fosforo e della carica batterica per rendere lo scarico compatibile con il corpo idrico recettore e con i limiti previsti dalla legge [5].

### ***1.2.1 Cenni sulle principali tecniche impiantistiche di depurazione.***

Con il termine *tecniche impiantistiche* si intendono quei sistemi che utilizzano tecnologia e soprattutto energia per aumentare le rese depurative; la depurazione avviene in spazi ridotti, con elevate concentrazioni di batteri e microrganismi o facendo uso in continuo di reagenti chimici. Le costruzioni sono in genere di cemento armato e viene impiegata molta energia elettrica nella gestione. Indispensabili per i grandi centri urbanizzati possono essere utilizzate anche nelle piccole comunità laddove non sono disponibili aree sufficienti per applicare i sistemi di tipo naturale.

Come indicate nel paragrafo precedente, i processi secondari biologici vengono convenzionalmente distinti in sistemi a biomassa adesa e a biomassa sospesa.

#### 1.2.1.1 Sistemi a biomassa adesa

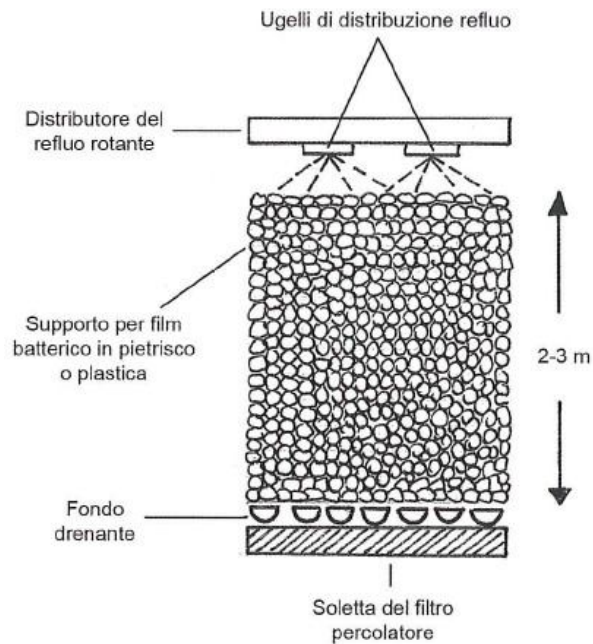
Le tecniche impiantistiche per i sistemi a biomassa adesa comprendono:

- filtri percolatori
- biodischi
- reattori biologici

#### Filtri percolatori

I filtri percolatori (figura 1.1) sono da annoverarsi tra i primi impianti di depurazione costruiti in Inghilterra agli inizi del secolo scorso. Essi sono costituiti da vasche di cemento armato riempite con inerti di vario genere sulla cui superficie viene distribuito il refluo chiarificato (dopo fasi di grigliatura, dissabbiatura, sedimentazione primaria, disoleatura) che percola con un movimento in senso verticale. Sul materiale di riempimento si crea in circa 2-3 settimane la pellicola biologica costituita da batteri, protozoi e in larga misura funghi che depura, con processi biologici principalmente aerobi, il liquame. Raggiunto un certo spessore la membrana biologica si distacca e viene raccolta periodicamente nella fase successiva di sedimentazione secondaria. I filtri percolatori hanno profondità di circa 2-3 metri. Hanno consumi energetici ridotti (intorno ai 4-12 kWh/ AE • anno) rispetto agli impianti a fanghi attivi (circa 20-40

kWh/AE • anno). Risentono delle variazioni di temperatura stagionali. E previsto un eventuale ricircolo per evitare condizioni favorevoli allo sviluppo di insetti.



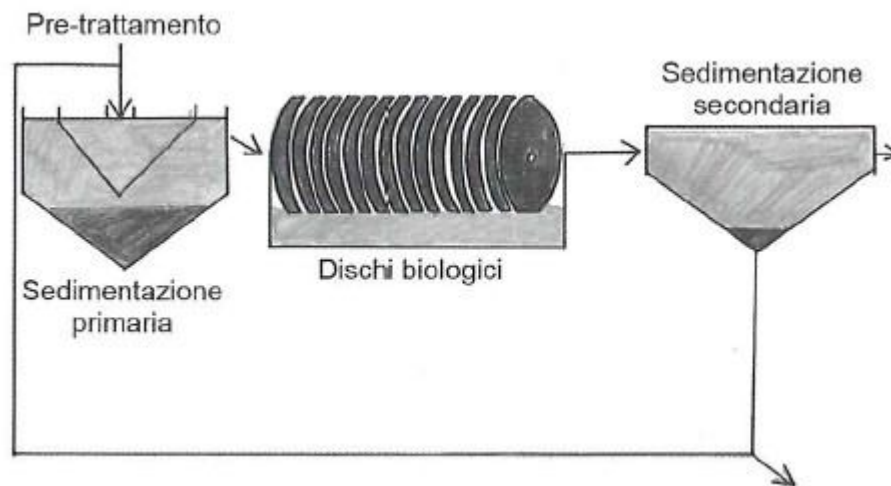
**Figura 1.1 Letto percolatore aerobico (Fonte: Masotti et al., 2005, modificato)**

### Biodischi

I biodischi sono costituiti da dischi di materiale plastico immersi in senso parallelo l'uno all'altro in un contenitore contenente il liquame, e imperniati su un asse di sostegno posto in rotazione da un motore elettrico (figura 1.2).

Il liquame entra nei biodischi dopo i trattamenti preliminari e una sedimentazione primaria e viene mantenuto in agitazione dal movimento dei dischi.

I biodischi hanno avuto un maggior successo rispetto ai filtri percolatori poiché dal momento che il processo avviene in un ambiente chiuso ma facilmente controllabile si evitano problemi quali diffusione di cattivi odori, presenza di insetti, minor influenza dalla temperatura esterna, presenza di aerosol e di macchinari rumorosi. I biodischi hanno consumi energetici simili ai filtri percolatori dell'ordine dei 4-7 kWh/AE • anno.



**Figura 1.2 Biodischi**

### Reattori biologici

I reattori sono i sistemi a biomassa adesa più evoluti. Molto compatti, sono utilizzati in genere per grandi comunità sopra i 2000 abitanti equivalenti anche se non mancano applicazioni anche per 500 abitanti equivalenti. Possono essere di tipo ossidativo, anossico o anerobico e costituiti da letti fissi (filtri biologici aerati), mobili (MBBR, *Moving Bed Biofilm Reactor*) oppure fluidizzati.

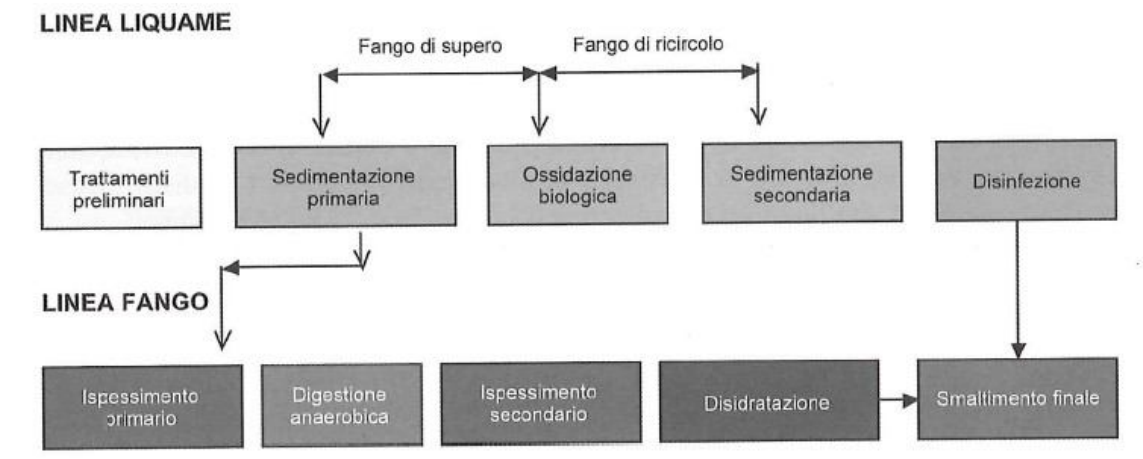
#### 1.2.1.2 Sistemi a biomassa sospesa: fanghi attivi, SBR, MBR

Le tecniche impiantistiche per i sistemi a biomassa sospesa comprendono:

- fanghi attivi
- SBR (Sequencing Batch Reactors)
- sistemi a membrana (MBR, Membrane Biological Reactor).

I sistemi a fanghi attivi sono i primi sistemi a biomassa sospesa ad essere stati costruiti nei primi anni del '900. Il processo si basava su un'aerazione prolungata

effettuata su reflui precedentemente sedimentati e chiarificati a cui faceva seguito una fase di sedimentazione in cui il "fango" si ispessiva. Questo fango venne chiamato attivo dal momento che è costituito da batteri attivi nella degradazione degli inquinanti. Negli impianti a fanghi attivi si sviluppano concentrazioni molto elevate di batteri aerobici, insieme ad altri microrganismi come protozoi e rotiferi, la cui caratteristica è quella di aggregarsi in colonie dette fiocchi attraverso biopolimeri extracellulari. Per contenere gli spazi il processo si è poi evoluto facendo ricircolare di continuo il fango raccolto nella sedimentazione finale.



**Figura 1.3 Schema semplificato depurazione fanghi attivi**

I sistemi a fanghi attivi sono utilizzabili con buone prestazioni per grandi utenze in genere superiori a 5000 abitanti equivalenti e con un refluo caratterizzato da una buona presenza di nutrienti e carico organico e idraulico costante nel tempo. In questi casi si usano distinguere (figura 1.3) una linea liquame e una linea fango. La linea liquame prevede dopo i trattamenti preliminari una sedimentazione primaria, l'ossidazione biologica (fanghi attivi), una sedimentazione secondaria e uno stadio finale di disinfezione: dopo la sedimentazione secondaria una porzione di fango viene immessa nuovamente nello stadio di ossidazione biologica mentre il fango di supero



ritorna alla sedimentazione primaria. La linea fango riguarda la porzione di fanghi di supero non più necessaria al processo che viene smaltita previo ispessimento, digestione anaerobica e disidratazione.

Per impianti inferiori a 2000 abitanti equivalenti si utilizzano in genere schemi semplificati ad aerazione prolungata (o ossidazione totale) in cui la linea fanghi è assente o consiste semplicemente in un accumulo e nella linea acque sono presenti i trattamenti preliminari, l'ossidazione biologica e la sedimentazione finale che porta al ricircolo del fango. La disinfezione può anche non essere presente.

A partire dagli anni '70 si sono perfezionati sistemi con schema discontinuo o batch denominate SBR (Sequencing Batch Reactors).

Più recenti sono invece i sistemi a membrana (MBR, Membrane Biological Reactor) in cui il refluo scorre attraverso membrane di particolari caratteristiche e con diverse porosità, combinato con sistemi a fanghi attivi.

I sistemi MBR hanno rendimenti di depurazione molto buoni ma consumi energetici molto maggiori rispetto ai tradizionali fanghi attivi: circa 0,7-1,5 kWh/m<sup>3</sup> contro i 0,3-0,5 kWh/m<sup>3</sup>. Inoltre necessitano di periodiche operazioni di pulizia e di sostituzione delle membrane che col tempo tendono a sporcarsi (fenomeno del fouling) per effetto delle particelle sospese e colloidali [5].

### **1.3 Depurazione con tecniche naturali e con tecniche impiantistiche**

I sistemi naturali di depurazione riproducono in un ambiente più controllato e costruito artificialmente i meccanismi di autodepurazione tipici degli ambienti acquatici.

La percezione scientifica di depurare le acque, attraverso strumenti naturali, era già presente nell'antichità; sono di esempio gli egizi che avevano appurato come le acque del Nilo prelevate a valle di aree insediate da vegetazione fossero più adatte per l'uso potabile. Le marcite lombarde, sono invece un esempio di come fosse possibile utilizzare le acque reflue urbane, per ottenere una migliore produzione foraggera e allo stesso tempo la loro depurazione.

La fitodepurazione, può essere considerata un'eco-tecnologia, ed è intesa come un'insieme di processi di trattamento di acque inquinate, dove è utilizzato come filtro il sistema SUOLO-VEGETAZIONE; Un impianto di fitodepurazione può essere vista a tutti gli effetti come un ecosistema naturale; esso è costituito da elementi biotici (microrganismi, piante) e abiotici (substrato, acqua, nutrienti) che sono in stretta relazione tra loro. Queste relazioni non sono ovunque uguali ma dipendono dalle condizioni del luogo e dalla presenza di elementi chimici e fisici che lo caratterizzano.

La parola fitodepurazione se vista dal punto di vista etimologico (dal greco phito = pianta) può trarre in inganno nel far ritenere che siano le piante gli attori principali nei meccanismi di rimozione; in realtà gli inquinanti vengono naturalmente rimossi attraverso processi fisici, chimici, biologici tra i quali sedimentazione, adsorbimento, degradazione batterica, ecc. [10]

La vegetazione svolge diverse funzioni, ripartite tra le diverse componenti strutturali. La parte sommersa delle piante acquatiche esplica la duplice funzione di filtro e di supporto per la popolazione microbica.

Ulteriori funzioni svolte dalla vegetazione sono la riduzione del volume del refluo attraverso l'assorbimento radicale e la traspirazione fogliare. [6]

Le piante acquatiche (ad es. *Phragmites* spp. e *Typha* spp.) hanno sviluppato nel tempo particolari tessuti interni, gli aerenchimi, che consentono il trasporto dell'ossigeno dalle parti aeree alla rizosfera, garantendo l'instaurarsi di microzone aerobiche in un ambiente prevalentemente anaerobico; In questo modo è favorito lo sviluppo di diverse famiglie di microrganismi aerobi nella rizosfera ed anaerobi nell'ambiente limitrofo, dove l'ossigenazione è praticamente assente. La contemporanea presenza di condizioni aerobiche, anaerobiche ed anossiche è fondamentale per lo sviluppo di diverse famiglie di microrganismi che consentono l'ossidazione della sostanza organica, l'ammonificazione, la nitrificazione, la denitrificazione dell'azoto. L'azione depurante della vegetazione si esplica, inoltre, per assunzione attraverso l'apparato radicale di azoto, fosforo e altri microelementi. [7]

Una classificazione può essere fatta in base al regime idrico; per questo motivo ci possono essere delle condizioni di sommersione, di saturazione o d'insaturazione della matrice con l'acqua. Il movimento dell'acqua può essere prevalentemente verticale o orizzontale. Nel primo caso l'acqua fluisce liberamente lungo il profilo del substrato, sotto lo stimolo della forza di gravità. Tipico esempio sono i letti di ghiaia vegetati a flusso verticale. Nel secondo caso dove, il movimento dell'acqua, è prevalentemente orizzontale, ci troviamo in ambienti dove esiste una barriera impermeabile, naturale o artificiale, che impedisce la percolazione. Tipico esempio delle terre basse, delle zone di bonifica meccanica e dei sistemi vegetati, che riproducono tali peculiarità.

Un'altra distinzione è fatta in base alla scala di lavoro: per questo motivo si parla di fitodepurazione **estensiva**, in vaste superfici di territorio, continue o meno, dove sono distribuiti reflui o acque con caratteristiche qualitative in parte alterate. **Diffusa**, fitodepurazione per siti di medie piccole dimensioni, ma distribuiti in modo sparso in una certa area. **Localizzata**, invece è un sistema, per impianti di piccole dimensioni collegati a fonti puntiformi d'inquinamento.

### ***1.3.1 Fitodepurazione estensiva.***

La fitodepurazione estensiva, si basa su un sistema di depurazione naturale, di cui sono in possesso i terreni, dove è già insediata la vegetazione, i quali agiscono come filtro. Il carico inquinante è diminuito, grazie all'interazione suolo-vegetazione. Tali processi possono avvenire in condizioni di suolo insaturo, saturo o sommerso. Questa tecnica, trova ampio utilizzo, nel territorio agrario, ricevendo acqua inquinata, lavorandola come un sistema depurante e restituendola ai corpi idrici con qualità migliorate.

### ***1.3.2 Fitodepurazione diffusa.***

Quando la natura, risponde nei confronti di una perturbazione esterna, si parla di fitodepurazione diffusa. Questi ambienti per le loro caratteristiche possiedono la capacità di bloccare, modificare o comunque limitare, flussi di materia e di energia, che li attraversano; per questi motivi si attribuiscono loro, un'importante azione: il filtraggio.

Tra i diversi sistemi di fitodepurazione diffusa, ricordiamo: le zone umide e le fasce tampone ripariali. Le zone umide (wetland), sono ambienti in cui l'acqua è presente tutto l'anno. Per questa caratteristica, in tali zone vivono specie vegetali capaci

di adattarsi a suoli con umidità elevata, superando oltre ai periodi con elevata risorsa idrica, anche momenti di mancanza di alcuni elementi tra cui l'ossigeno.

La loro capacità consiste nel trasformare inquinanti comuni, che si trovano nelle acque reflue, in prodotti utili per la loro sopravvivenza e riproduzione. Esistono, dei problemi riguardanti le wetland: i carichi solidi sospesi, di BOD, di N, che non consentono percentuali di riduzioni soddisfacenti tra affluente ed effluente. Per tale motivo, è necessario un trattamento primario all'origine per ridurre i problemi definiti in precedenza, oltre a favorire con questi accorgimenti una maggiore ossigenazione, per garantire l'ossidazione dell'azoto ammoniacale. Per la riduzione degli insetti sviluppati in queste zone, si fa ricorso all'uso di risorse naturali di specie ittiche e dell'avifauna; ci sono invece ampi miglioramenti per il contenimento degli odori sgradevoli. [8]

Le fasce tampone sono aree o strisce di terra mantenute sotto una copertura vegetale permanente. Possono essere utilizzate lungo corsi d'acqua, laghi, curve di livello, bordure campestri e anche all'interno dei campi. Di seguito vengono elencati alcuni esempi di fasce tampone.

- Le strisce erbose sono aree erbacee utilizzate per intrappolare sedimenti e inquinanti dai campi adiacenti prima che possano raggiungere corsi d'acqua o zone sensibili.
- Le siepi divisorie sono strisce di piante arbustive utilizzate per indicare i confini di proprietà o come recinzione per il bestiame. Svolgono un ruolo importante anche perché sono in grado di filtrare sedimenti e inquinanti dai campi e di impedire la diffusione dei pesticidi, in particolare in fase di spandimento su colture alte.
- L'inerbimento dei canali di scolo è finalizzato alla riduzione del potere erosivo delle acque di deflusso superficiali provenienti dai terreni agricoli. La coltura erbacea

rallenta il flusso idrico e protegge la superficie del canale dall'erosione, in particolare quando il bacino di raccolta delle acque è relativamente ampio.

- I frangivento sono costituiti da file di alberi o arbusti. Sono finalizzati a ridurre la velocità e l'erosione del vento e, pertanto, a proteggere le giovani colture e a controllare l'accumulo di neve e suolo.
- Le fasce tampone riparie sono zone erbose, arboree o arbustive adiacenti i corsi d'acqua che filtrano gli inquinanti.

La realizzazione di fasce tampone può richiedere la piantumazione di strisce erbose, siepi divisorie e filari di alberi o un insieme di questi elementi. In genere è necessario provvedere alla manutenzione per garantire una filtrazione efficace o limitare la crescita eccessiva delle piante che potrebbe danneggiare la produzione agricola dei terreni adiacenti. In alcuni paesi europei le fasce tampone sono obbligatorie ai margini dei terreni coltivati confinanti con corpi idrici.

Esse possono ridurre gli effetti dell'erosione idrica ed eolica e, di conseguenza, sono in grado di diminuire notevolmente il volume di sedimenti e nutrienti trasportati dal dilavamento dei terreni agricoli e di impedire il trasporto dei pesticidi dai campi ai corpi idrici, alle strade o ad altre aree. I frangivento, in particolare, possono dimezzare la velocità del vento su una distanza fino a venti volte l'altezza degli alberi e intercettare gli inquinanti e le particelle del suolo aerei, contribuendo così a ridurre i costi delle operazioni di ripulitura (come la rimozione dei sedimenti). Le fasce tampone possono modificare l'aspetto del paesaggio e col tempo possono trasformarsi in habitat seminaturali, ospitando molte specie di animali selvatici [9].

### ***1.3.3 Fitodepurazione localizzata.***

La fitodepurazione localizzata, tratta fonti d'inquinamento singole, circoscritte. Già agli inizi degli anni settanta, si cominciano a ottenere i primi segnali positivi di quest'applicazione, soprattutto nel nord dell'Europa e negli Stati Uniti. In Italia è stata considerata dagli anni novanta ad oggi, e grazie alla sperimentazione universitaria, con investimenti anche da ditte private, una valida opzione ai sistemi tradizionali. Lo conferma l'inserimento nel D.lgs. 152/99 (aggiornato con il D.lgs. 152/06) per il trattamento dei reflui. La differenza sostanziale, rispetto alla tipologia diffusa e all'estensiva, consiste nel passaggio del flusso, in modo sottosuperficiale, che attribuisce dei vantaggi, su superficie di occupazione, maggiore efficienza anche nei mesi invernali, riduzione o eliminazione dei cattivi odori e sviluppo d'insetti indesiderati, semplicità ed economicità.

## 1.4 Inquinamento delle acque

L'inquinamento delle acque consiste nell'alterazione di un corpo idrico naturale (fiume, lago, mare, falda idrica) dovuta prevalentemente ad attività antropica.

L' inquinamento può essere dovuto a scarichi puntuali di agglomerati urbani o complessi industriali o singole unità isolate (complessi turistici, fabbriche, discariche, ecc.) oppure ad inquinamento diffuso legato alla presenza di allevamenti di animali), concimazione artificiale di terreni agricoli e dilavamento di superfici inquinate.

Un corpo idrico si presenta inquinato quando la concentrazione di inquinanti supera la sua capacità di autodepurazione. Nel caso di un fiume l'inquinamento si manifesterà in corrispondenza di un elevato apporto di sostanza organica (derivante *in primis* dagli scarichi fognari), di materiali in sospensione, di microrganismi patogeni e di sostanze pericolose anche a basse concentrazioni come metalli pesanti e composti organici di vario genere.

In un lago oltre alle forme di inquinamento appena citate si aggiungono quelle legate al lento accumulo di nutrienti come il fosforo e l'azoto che determinano il fenomeno dell'eutrofizzazione<sup>1</sup> che può essere riscontrato in forma localizzata non solo nei fiumi ma anche nel mare come accaduto negli ultimi decenni nell'alto Adriatico. Le falde acquifere possono risentire di inquinamenti del terreno dovuti a perdite del sistema fognario o a immissioni dovute a smaltimenti per subirrigazione, percolato di discarica o inquinamento diffuso di origine zootecnica o agricola.

---

<sup>1</sup>Il termine eutrofizzazione deriva dal greco eutrophia (eu = buono, trophds = nutrimento) e indica una condizione di ricchezza di sostanze nutritive, in particolare una sovrabbondanza di nitrati e fosfati. Causa uno sviluppo smisurato di alghe la cui degradazione e accumulo sul fondo del lago portano a un eccesso di sostanza organica con conseguente consumo di ossigeno disciolto per una maggiore attività batterica e creazione di anossia e moria di pesci.



#### ***1.4.1 Principali parametri che caratterizzano un'acqua reflua***

Il grado di inquinamento delle acque può essere valutato attraverso l'analisi di alcuni parametri ottenuti attraverso metodiche standard di laboratorio.

Per caratterizzare un'acqua reflua oltre a colore e odore si vanno ad indagare una serie di parametri fisici, chimici e biologici tenendo conto delle indicazioni fornite dalle normativa vigente in materia di scarichi. Nella tabella 1.1 sono riassunti i principali parametri utilizzati per caratterizzare un'acqua reflua.

Parametri fisici	Temperatura
	Conducibilità elettrica
	Solidi
	Colore
	Odore
Parametri chimici	pH
	Alcalinità
	Ossigeno disciolto
	Domanda di ossigeno (BOD, COD, TOC)
	Azoto (ammoniacale, organico, nitriti, nitrati)
	Fosforo (ortofosfati, polifosfati, organico)
	Oli e grassi
	Oli minerali
	Tensioattivi
	Metalli pesanti
Parametri biologici	Coliformi totali
	Coliformi fecali
	Streptococchi fecali
	Escherichia coli
	Salmonelle

**Tabella 1.1 Principali parametri utilizzati per caratterizzare un'acqua reflua**

#### 1.4.1.1 Parametri fisici

I principali parametri fisici presi in esame sono:

##### Solidi e torbidità

I solidi vengono classificati come solidi totali presenti nell'acqua reflua sottoposta ad evaporazione a una temperatura di 103-105 °C e sono dati dalla somma di solidi sospesi e solidi filtrabili. I solidi sospesi indicano le sostanze presenti nell'acqua sotto forma di particelle sospese e in parte di particelle colloidali; in pratica sono le sostanze visibili non filtrabili, ovvero quelle che, con una prova di laboratorio, restano catturate in un particolare filtro di porosità 0,45 micron. I solidi sospesi insieme alle sostanze colloidali sono la principale causa della torbidità dell'acqua, ossia del cosiddetto inquinamento visibile, poiché impediscono la trasmissione diretta della luce. I solidi filtrabili sono la frazione colloidale e disciolta non trattenuta dalla filtrazione a 0,45 micron: i disciolti contengono sia molecole organiche che inorganiche mentre i colloidali non vengono rimossi per sedimentazione.

#### 1.4.1.2 Parametri Chimici

##### Ph

Il pH rivela l'acidità o la basicità di una sostanza liquida. Viene anche definito come esponente di idrogeno e rappresenta il logaritmo dell'attività degli ioni idrogeno presenti in soluzione secondo la notazione seguente:

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$$

L'intervallo di pH più idoneo alla vita acquatica è compreso tra 7 e 8. Valori inferiori o superiori indicano la presenza di inquinamento da acidi o basi forti.

### Alcalinità

L'alcalinità è la capacità di un'acqua di neutralizzare gli acidi e pertanto di tamponare un calo del pH grazie alla presenza di carbonati, bicarbonati e idrati.

Valori tipici di un'acqua reflua variano tra 50-200 mg/l come  $\text{CaCO}_3$ .

L'alcalinità tende ad aumentare durante le reazioni di denitrificazione e a diminuire nelle reazioni di nitrificazione.

### Ossigeno disciolto

La concentrazione di ossigeno è un parametro molto importante perché condiziona la vita di tutti gli organismi acquatici e in particolare di quelli coinvolti nella depurazione biologica. La carenza di ossigeno è indice di inquinamento di un corpo idrico, ovvero della presenza di sostanze ossidabili che sottraggono ossigeno all'acqua. Il fatto che l'ossigeno abbia una scarsa solubilità in acqua rispetto ad altri gas lo rende un fattore limitante negli ecosistemi acquatici: l'immissione di una quantità anche modesta di sostanza organica biodegradabile consumerà la maggior parte dell'ossigeno disciolto usato per ossidarla creando in breve tempo un ambiente anossico in cui sopravvivranno solo specie di organismi invertebrati con forti adattamenti a quell'ambiente (ditteri del genere *Chironomus*, oligocheti del genere *Tubifex*, ecc.).

### Sostanza organica (BOD, COD)

Il contenuto di sostanza organica in un'acqua reflua può essere determinato con procedure analitiche differenti.

Il BOD è la richiesta biochimica di ossigeno ( $\text{O}_2$ ) ed esprime la quantità di ossigeno richiesta dai batteri aerobici per degradare e assimilare la sostanza organica

presente in un litro d'acqua o sostanza acquosa. Questo parametro dipende fortemente dalla temperatura e per convenzione si fa riferimento al BOD a 5 giorni e alla temperatura di 20 °C (BOD<sub>5 20</sub>); viene normalmente espressa in mg do O<sub>2</sub>/l.

Il BOD è quindi una misura indiretta della materia organica biodegradabile presente in un campione d'acqua ed è uno dei parametri più in uso per stimare il carico inquinante delle acque reflue.

Il COD è la richiesta di ossigeno per ossidare "chimicamente" le sostanze organiche e inorganiche presenti nel campione d'acqua prelevato. Nei liquami domestici il valore è normalmente 1,7-2 volte il BOD<sub>5</sub>. Valori maggiori di questo rapporto rilevano la presenza di scarichi industriali contenenti sostanze organiche non o lentamente biodegradabili.

### Nutrienti

I nutrienti sono sostanze necessarie ai microrganismi per crescere e riprodursi (carbonio, azoto, fosforo, zolfo e tracce di calcio, potassio, zinco, ecc.). Nelle acque reflue azoto e fosforo sono i due elementi che si trovano in concentrazioni maggiori e che, se rilasciati nei corpi idrici, possono creare gravi squilibri di inquinamento ed eutrofizzazione. Per questo motivo sono un importante parametro da monitorare.

#### *Azoto*

Nelle acque di scarico l'azoto si ritrova sotto forma di nitrato (NO<sub>3</sub>), nitrito (NO<sub>2</sub>), ammoniaca (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e azoto organico. L'azoto organico è, secondo la definizione in uso, quello legato alla materia organica allo stato di ossidazione negativo trivalente. L'azoto ammoniacale e quello organico vengono comunemente determinati contemporaneamente secondo il metodo di Kjeldahl ed espressi come TKN (in mg/l);

la concentrazione dell'azoto ammoniacale può essere espressa anche come  $\text{N-NH}_4$  in mg/l. Il contenuto, in nitrati e in nitriti, è rispettivamente espresso come  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NO}_2^-$  in mg/l.

L'azoto ammoniacale deriva dalla degradazione di composti organici azotati. Esso viene perciò considerato indice di inquinamento recente di origine civile. In corsi d'acqua con un alto grado di ossigeno questo tipo di azoto risulta assente o presente in tracce, poiché viene ossidato velocemente ad azoto nitrico. Le fonti principali sono rappresentate da scarichi fognari, allevamenti zootecnici e reflui delle industrie alimentari e chimiche. I nitrati, attraverso un prodotto intermedio costituito dai nitriti, si formano dalla completa ossidazione dell'azoto ammoniacale ad opera della flora batterica presente nelle acque. La presenza di nitrati nelle acque è dovuta agli scarichi urbani, agli allevamenti zootecnici, alle acque provenienti dal dilavamento dei terreni trattati con fertilizzanti e agli scarichi industriali.

Un'elevata concentrazione di nitrati, associata a un'alta presenza di fosfati, in condizioni favorevoli di temperatura, causa l'eutrofizzazione.

La reazione di rimozione biologica dell'azoto si articola in due stadi distinti:

1. **NITRIFICAZIONE:** con il termine di “nitrificazione” si intende l'ossidazione biologica dei composti inorganici dell'azoto ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_2^-$ ). Tale ossidazione avviene prevalentemente ad opera di particolari batteri aerobi obbligati che appartengono al genere *Nitrosomonas* e *Nitrocystis* e *Nitrospira*, per essi il carbonio inorganico ( $\text{CO}_2$ ) la sola fonte di carbonio mentre l'energia necessaria per la loro crescita e per il loro metabolismo deriva dall'ossidazione dell'ammoniaca a nitriti ( $\text{NO}_2^-$ ) e dei nitriti a nitrati ( $\text{NO}_3^-$ ).

2. DENITRIFICAZIONE: con il termine di “denitrificazione” si intende la riduzione biologica dell'azoto nitrico e nitroso ad azoto gassoso e piccole quantità di ossidi di azoto (NO e NO<sub>2</sub>). La denitrificazione avviene ad opera di batteri eterotrofi facoltativi che impiegano una fonte di carbonio esterna (BOD) per ricavare energia sottoforma di elettroni e utilizzando l'ossigeno legato ai composti organici ossidati (nitrati, solfati ecc.) invece dell'ossigeno libero O<sub>2</sub> e liberando azoto gassoso come catabolita. I batteri denitrificanti sono di diverso tipo: *Pseudomonas*; *Micrococcus*; *Archromabacter*; *Bacillus*; ecc.

### *Fosforo*

La presenza di fosfati nelle acque superficiali è dovuta principalmente agli scarichi urbani (come prodotto del metabolismo umano e come costituente dei detersivi), al dilavamento dei terreni agricoli trattati con fertilizzanti e agli effluenti zootecnici. Il carico totale di fosforo (PO<sub>4</sub>) si compone di ortofosfato, polifosfato e composti organici del fosforo: di norma la percentuale maggiore è costituita dall'ortofosfato.

A causa del rischio potenziale per le acque superficiali, la direttiva UE 91/271/CEE fissa i valori limite per lo scarico di composti del fosforo in un corpo idrico recettore recepiti nel 1999 dalla normativa nazionale.

I fosfati sono presenti nell'acqua in forma disciolta, colloidale o solida. Per tanto, prima di procedere all'analisi, è importante decidere quale parte dei composti del fosforo deve essere analizzata: per determinare unicamente gli ortofosfati il campione deve essere soltanto filtrato prima di essere analizzato. Se invece deve essere misurata la concentrazione totale di PO<sub>4</sub> (ad esempio per il controllo dei valori limite) è necessaria una omogeneizzazione iniziale del campione con digestione finale (decomposizione).

### Detergenti

I detersivi sono spesso causa di fenomeni di inquinamento delle acque portando alla formazione di schiume che ostacolano lo scambio di ossigeno con l'atmosfera. I moderni detergenti sono composti da più componenti: tensioattivi, complessanti, sbiancanti, enzimi, riempitivi, ecc. Pur non rappresentando una minaccia come altri inquinanti le normative di tutti gli stati membri dell'Unione Europea si stanno aggiornando per imporre l'utilizzo di detersivi sempre più biodegradabili poveri o privi di fosfati per contrastare il fenomeno dell'eutrofizzazione. Da circa dieci anni esiste anche un marchio europeo (Ecolabel) che attesta che il prodotto ha un ridotto impatto ambientale nel suo intero ciclo di vita. Utilizzare questo tipo di detersivi migliorerebbe anche l'efficienza dei depuratori, inclusi i sistemi di fitodepurazione, oltre a contribuire a diminuire il costo di esercizio.

Mentre una volta il solo detergente usato era il sapone, oggi si trovano in commercio numerosi di prodotti utili per la pulizia di superfici o di indumenti che vengono utilizzati in grande quantità, sia in ambito domestico che industriale. Tali prodotti contengono dei composti chimici che, se presenti in grande concentrazione, possono essere pericolosi per la salute e alterare gli equilibri degli ecosistemi, a causa della loro tossicità intrinseca, della loro permanenza nell'ambiente e dell'alto potenziale di bioaccumulo. Per questi motivi sono nati negli ultimi quindici anni detergenti che utilizzano componenti di origine vegetale completamente biodegradabili.

### Tensioattivi

La componente che maggiormente crea problemi di inquinamento dei corpi idrici è quella tensioattiva che svolge anche un ruolo importante nelle attività di

rimozione dello sporco. I tensioattivi sono composti organici costituiti da una parte idrofila (fase polare), che si lega all'acqua, e una parte idrofoba (fase apolare), che tende a legarsi alla fase grassa dello sporco e a solubilizzarlo. Possiedono inoltre la capacità di ridurre la "tensione superficiale" nelle soluzioni acquose, cioè permettono all'acqua di penetrare meglio nelle fessure, nelle trame dei tessuti, veicolare lo sporco e quindi aumentare il potere detergente. La maggior parte dei tensioattivi utilizzati è sintetica, quindi non presente in natura. Essi si suddividono in categorie in funzione della carica ionica della molecola e sono:

- *Tensioattivi anionici*: sono costituiti da esteri carbossilici, solforici e alchil solforici, fosforici, lattici, citrici e sono così chiamati poiché in acqua subiscono una dissociazione ionica scindendosi in una parte cationica ( $\text{Na}^+$  o  $\text{K}^+$ ) e in una anionica che è quella che ha l'effetto detergente. I tensioattivi anionici sono quantitativamente la parte predominante dei tensioattivi che si trovano attualmente sul mercato.
- *Tensioattivi cationici*: sono generalmente sali di ammonio quaternario dotati di azione umettante e batteriostatica. Sono utilizzati per realizzare ammorbidenti e balsami per capelli o in campo industriale.
- *Tensioattivi non ionici*: non si dissociano in acqua. Essi hanno la capacità di lavare a basse temperature e sono poco schiumosi.
- *Tensioattivi anfoteri*: hanno sia la carica negativa che quella positiva, con caratteristiche intermedie tra i non ionici e gli anionici. Attenuano l'aggressività dei tensioattivi anionici e sono dei buoni schiumogeni. In genere i più comuni anfoteri sono biodegradabili anche in condizioni di anaerobiosi.



### Metalli pesanti

I metalli pesanti che è possibile trovare in un'acqua reflua sono ioni di ferro, rame, zinco, cadmio, manganese, mercurio, cromo, cobalto, nichel, piombo. Con il termine *metalli pesanti* viene per convenzione indicata una serie di metalli che in concentrazioni eccessive hanno un'azione tossica per gli organismi e inibitrice dei processi di depurazione biologica. Essi se presenti in piccole concentrazioni come oligoelementi, non sono nocivi ma anzi sono indispensabili per i processi vitali. Le percentuali di abbattimento dei metalli pesanti nei trattamenti di depurazione primaria e secondaria e abbastanza elevata, tuttavia è necessario osservare che questi si vanno a concentrare nei fanghi di depurazione con conseguenze pericolose sull'ambiente per lo smaltimento finale soprattutto nel caso di uso agricolo.

#### 1.4.1.3 Parametri biologici

Le acque reflue contengono moltissimi microrganismi patogeni (batteri, virus, protozoi). Essendo difficile isolare e determinare i singoli microrganismi presenti nei liquami normalmente si fa riferimento ad indicatori di inquinamento fecale ossia a batteri appartenenti al ceppo Coli: *coliformi totali*, *coliformi fecali*, *streptococchi fecali* ed *Escherichia coli*. Sono necessari trattamenti terziari di disinfezione degli effluenti di depurazione che recapitano in un corpo idrico superficiale per non pregiudicare la sua destinazione d'uso a scopo irriguo, balneare, ecc. In alternativa alla disinfezione possono essere efficacemente utilizzati sistemi di fitodepurazione a flusso superficiale o stazionamento prolungato in stagni di accumulo. [10]

#### ***1.4.2 Monitoraggio delle acque superficiali***

I dati di monitoraggio dei corpi idrici, che per legge devono essere raccolti dalla rete delle Agenzie per la Protezione e l'Ambiente (ARPA) distribuite su tutto il territorio nazionale, rappresentano uno dei punti fondamentali su cui è basata la tutela dei corpi idrici superficiali e *sotterranei e di conseguenza la depurazione delle acque*. La normativa italiana ha subito negli ultimi decenni radicali cambiamenti e innovazioni che sono tuttora in essere in particolare per quanto riguarda le specifiche tecniche di riferimento per il monitoraggio delle acque superficiali con il recepimento della Direttiva comunitaria sulle acque CEE 2000/60 WFD nel D.Lgs. 152/2006 e il decreto attuativo D.M. 260/2010 *Regolamento recante i criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici (tipizzazione, individuazione dei corpi idrici, analisi delle pressioni)*. [10]

## **1.5 Calcolo del numero di abitante equivalente AE**

Abitante equivalente (AE) è un parametro di riferimento ampiamente impiegato per dimensionare i sistemi di depurazione delle acque reflue o per confrontare la potenzialità di impianti diversi, o il carico di diverse utenze, anche molto eterogenee tra loro [13]. AE si riferisce proprio all'apporto di carico organico di un abitante medio, che per la progettazione dei trattamenti di depurazione è assunto come unità di misura. In modo analogo AE definisce anche l'apporto di carico idraulico anch'esso assunto come unitario. Essendo il consumo idrico pro-capite molto vario, risulta imprecisa una determinazione dei volumi di scarico a priori.

La normativa nazionale di riferimento (D.lgs 152/2006), all'articolo 74 comma 1 lettera a), definisce l'abitante equivalente come il carico organico biodegradabile avente una richiesta biochimica di ossigeno a 5 giorni (BOD5) pari a 60 grammi di ossigeno al giorno.

Nel caso in cui non sia disponibile il dato analitico di carico organico, alcune regioni fanno riferimento al volume di scarico di 200 litri per abitante/giorno; Per determinare il numero di abitanti equivalenti per diverse utenze è necessario basarsi su tabelle di conversione come la Tabella 1.2 (spesso ricorrente in letteratura tecnica) in cui per AE si è assunto un apporto idraulico di 200 litri/(AE·giorno) e un apporto organico di 60 gBOD5/(AE·giorno).

Altro criterio di determinazione del numero di AE che si trova in molti regolamenti edilizi comunali considerare negli edifici di civile abitazione 35 m<sup>2</sup> di superficie utile lorda (o frazione) corrispondente a 1 AE; Per i nuovi appartamenti in cui lo spazio disponibile per abitante è notevolmente ridotto conviene utilizzare per il calcolo degli AE il criterio consigliato dall'ARPA (ARPA Ravenna, 2004). Per casa di civile abitazione:

1 AE per camera da letto con superficie fino a 14m<sup>2</sup>

2 AE per camera da letto con superficie superiore a 14m<sup>2</sup>.

Natura della comunità	Apporto idraul. unitario [l/d]	n. AE come carico idraulico	Apporto org. unitario [g BOD <sub>5</sub> /d]	n. AE come carico organico
<i>Scarichi domestici per abitante, senza contributi industriali</i>				
Abitazioni di lusso	300÷400	1,5÷2	75÷90	1,25÷1,5
Quartieri ad alto livello	250÷350	1,25÷1,75	75÷90	1,25÷1,5
Quartieri a medio livello	200÷300	1÷1,5	55÷75	0,92÷1,25
Quartieri popolari, comunità rurali	150÷250	0,75÷1,25	30÷60	0,5÷1
Villette estive	150÷200	0,75÷1	55÷70	0,92÷1,16
<i>Centri turistici marini e montani per ospiti stabili</i>	150÷200	0,75÷1	60÷70	1÷1,16
<i>per ospiti giornalieri di passaggio</i>	15÷40	0,07÷0,2	7,5÷25	0,12÷0,67
<i>Scuole (per alunno, personale docente e non)</i>				
Scuole elementari	35÷45	0,17÷0,22	11÷18	0,18÷0,3
Scuole medie	35÷65	0,17÷0,32	15÷20	0,25÷0,33
per docce per ogni tipo di scuola	+ 20 l		+ 5 g	
per cucine per ogni tipo di scuola	+ 20 l		+ 10 g	
<i>Collegi, convitti, istituzioni a carattere continuativo per ospite, personale docente e non</i>	180÷380	0,9÷1,9	55÷75	0,9÷1,25
<i>Prigioni per impiegato</i>	20÷60	0,1÷0,3	20÷35	0,33÷0,6
<i>per recluso</i>	300÷600	1,5÷3	75÷90	1,25÷1,5
<i>Uffici per impiegato</i>	50÷75	0,25÷0,37	15÷25	0,25÷0,40
<i>Fabbriche per impiegato ed operaio e per turno, con esclusione degli scarichi industriali</i>	50÷130	0,25÷0,65	20÷35	0,3÷0,6
<i>per docce</i>	+ 20 l		+ 5 g	
<i>per cucine</i>	+ 20 l		+ 9 g	
<i>Mense aziendali per pasto</i>	15÷30	0,07÷0,15	8÷15	0,13÷0,25
<i>Ospedali (per letto)</i>	500÷1100	2,5÷5,5	100÷160	1,7÷2,7
<i>Hotel, motel, pensioni per ospite, personale di servizio, esclusi ristorante e bar</i>	150÷400	0,75÷2	55÷75	0,9÷1,25
<i>Ospizi, case di riposo per letto</i>	200÷350	1÷1,75	60÷90	1÷1,5
<i>Campeggi e villaggi turistici per ospite</i>	100÷200	0,5÷1	40÷70	0,66÷1,17
<i>Ristoranti per impiegato</i>	35÷60	0,60÷1	20÷25	0,33÷0,42
<i>per posto servito</i>	10÷12	0,05÷0,06	10÷15	0,17÷0,25
<i>Caffè, bar per impiegato</i>	50÷60	0,83÷1	20÷25	0,33÷0,42
<i>per cliente</i>	4÷20	0,02÷0,10	3÷5	0,05÷0,08
<i>Cinema e teatri per posto a sedere</i>	15÷20	0,07÷0,10	8÷10	0,13÷0,17
<i>Piscine per nuotatore/ospite</i>	20÷40	0,10÷0,20	10÷15	0,17÷0,25
<i>Aeroporti per impiegato</i>	50÷60	0,83÷1	22÷25	0,37÷0,42
<i>per passeggero</i>	15÷20	0,06÷0,10	8÷12	0,13÷0,2
<i>Cantieri operai per lavoratore</i>	100÷200	0,5÷1	55÷75	0,9÷1,25
<i>Sale da ballo per utente</i>	7÷15	0,03÷0,07	10÷20	0,17÷0,33
<i>Negozi per impiegato</i>	30÷45	0,15÷0,22	20÷40	
<i>Centri commerciali per m<sup>2</sup> coperto</i>	3÷10 l/m <sup>2</sup>		1÷2 g/m <sup>2</sup>	
<i>Stazioni di servizio per veicolo servito</i>	20÷50	0,10÷0,25	5÷10	0,08÷0,17
<i>per impiegato</i>	35÷55	0,17÷0,27	20÷40	0,33÷0,66
<i>Campeggi per roulotte</i>	380÷570	1,9÷2,8	140÷180	2,33÷3
<i>per tenda</i>	300÷400	1,5÷2	120÷160	2÷2,7

Tabella 1.2 Apporti idraulici, organici e numero AE delle utenze (Masotti e Verlicchi,2005)

Nel caso in cui si adotti il sistema ad ET totale il calcolo delle portate idriche reflue (deducibile anche dal numero degli AE) è d'importanza fondamentale, poiché una sottostima avrà come effetto la non totale evapotraspirazione del refluo mentre una sovrastima avrà come effetto l'utilizzo d'ulteriore superficie rispetto a quella necessaria già di notevoli dimensioni e perciò di difficile reperimento. Quindi, per i sistemi ad ET, è sempre opportuno condurre indagini dirette mirate a stimare la portata idrica reflua. Ad esempio nel caso di regolarizzazione di scarichi esistenti basterà controllare i consumi idrici annui (meglio se ricavati da una media dei consumi idrici di qualche anno) di acqua potabile prelevata dall'acquedotto rilevabili dalle fatture dell'Ente gestore. Per il calcolo della portata idrica reflua basterà moltiplicare il consumo medio idrico annuo per il coefficiente di afflusso alla fognatura compreso tra 0.70 ,0.85 (normalmente 0.8 per Masotti e Verlicchi, 2005). Il coefficiente di afflusso sarà più basso nel caso ci siano ampi spazi esterni che richiedono lavaggi o annaffiature.

Infine è da considerare anche l'aumento del numero di abitanti equivalenti che ci può essere in futuro.

## 1.6 Obiettivo della ricerca

Attraverso la presente ricerca, si è cercato di analizzare le tecniche ed il comportamento di alcuni impianti fitodupurazione con vassoio assorbente (Evapotraepirazione), esistenti e funzionali, presenti nel territorio oggetto di studio.

Nella prima parte del ciclo di dottorato, si è proceduti prevalentemente nell'individuazione di impianto di evapotraspirazione a vassoio assorbente esistenti, sui quali sono stati rilevati i vari parametri impiantistici, come dimensionamento, lay-out e capacità evapotraspirativa del carico organico/idraulico. Tra quelli esaminati, ne è stato individuato uno che per caratteristiche è il più rappresentativo.

Nella seconda parte del ciclo di dottorato, l'attività di studio si è concentrata nell'analizzare e mettere a confronto il comportamento dei singoli vassoi evapotraspirativi dell'impianto rappresentativo, il quale è composto da più vasche in parallelo e su una di queste è stato realizzato un sistema a greenhouse ET System (serra su vassoio). Infatti, la serra impedisce alla pioggia di infiltrarsi nel letto e nel frattempo aumenta l'evapotraspirazione del sistema, andando ad incidere direttamente sui fattori che la regolano.

L'obiettivo della ricerca è quello di *quantificare* il miglioramento della resa depurativa, riferita alla superficie per AE, di un sistema evapotraspirativo integrato con greenhouse ET System in modo da avere come risultato la possibilità di progettare impianti con vasche non più sovradimensionate, necessarie per far fronte alla riduzione fisiologica dell'evapotraspirazione della vegetazione nel periodo sfavorevole, accompagnata dall'aumento delle precipitazioni.

Per gli impianti esistenti la quantificazione del sistema si potrebbe inquadrare nella necessità di avere, mantenendo la stessa superficie, rese maggiori, specialmente in

quegli impianti che devono supportare un aumento del numero di AE o che siano stati sottodimensionati, senza per questo andare ad ampliare i vassoi assorbenti.

# Capitolo 2

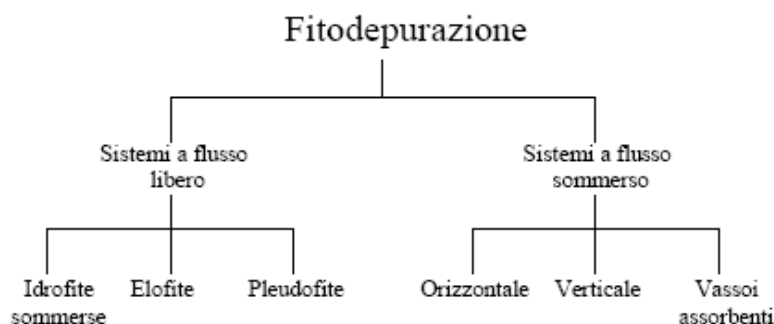
## 2 Sistemi di fitodepurazione

Gli impianti di fitodepurazione possono essere progettati in modo diverso a seconda del cammino idraulico dei reflui al loro interno e all'ecologia delle macrofite acquatiche utilizzate. Le principali tipologie impiantistiche utilizzate sono schematizzate in figura 2.1.

Allo stadio attuale di sviluppo di questa tecnologia, le tipologie più diffuse in Italia e nel mondo sono le seguenti:

- Sistemi a flusso superficiale (Free Water Surface – FWS)
- Sistemi a flusso sommerso orizzontale (Horizontal Flow – HF)
- Sistemi a flusso sommerso verticale (Vertical Flow – VF)
- Sistemi a vassoi assorbenti

Le diverse tipologie di sistemi di fitodepurazione possono essere combinate con l'obiettivo di ottimizzare le rese depurative di un particolare tipo di reflu. Questi sistemi combinati prendono il nome di “Sistemi ibridi” [9].



**Figura 2.1** Tipologie impiantistiche sistemi di fitodepurazione



In Europa sono maggiormente diffusi i sistemi a flusso sommerso orizzontale e verticale (più del 75%) , utilizzati prevalentemente per il trattamento secondario di acque reflue domestiche e civili [9]. Tali sistemi risultano essere i più appropriati nel contesto europeo, sia per il miglior rapporto tra superficie necessaria ed efficacia di trattamento, sia per il loro inserimento in aree urbane e/o periurbane.

Per il trattamento terziario (o post-trattamento) di depuratori esistenti si annoverano invece, numerose esperienze con sistemi a flusso superficiale FWS, che si configurano spesso come la migliore alternativa in caso di ingenti quantità di acque da trattare con ridotto grado di inquinamento. Inoltre, la realizzazione di questi sistemi fornisce l'opportunità di ricreare habitat ideali per specie animali (piccoli anfibi, uccelli, etc.) e vegetali (idrofite ed elofite) fortemente a rischio per la sempre maggiore semplificazione delle forme d'uso del territorio e la conseguente scomparsa dei microhabitat adeguati per la loro riproduzione.

Come già anticipato, la classificazione basata sulle caratteristiche del percorso idraulico del reflu distingue i sistemi di fitodepurazione in sistemi a flusso sommerso (orizzontale, verticale e vassoi assorbenti) e sistemi a flusso libero. Di seguito sono descritte le principali caratteristiche di tali sistemi.

## **2.1 Sistemi a flusso sommerso**

I sistemi a flusso sommerso o sub-superficiale sono canali o bacini, naturalmente o artificialmente impermeabilizzati, riempiti con materiale inerte ad elevata

conducibilità idraulica (ghiaia, sabbia o terreno naturale) che funge da supporto di crescita per le macrofite emergenti e per la popolazione microbica.

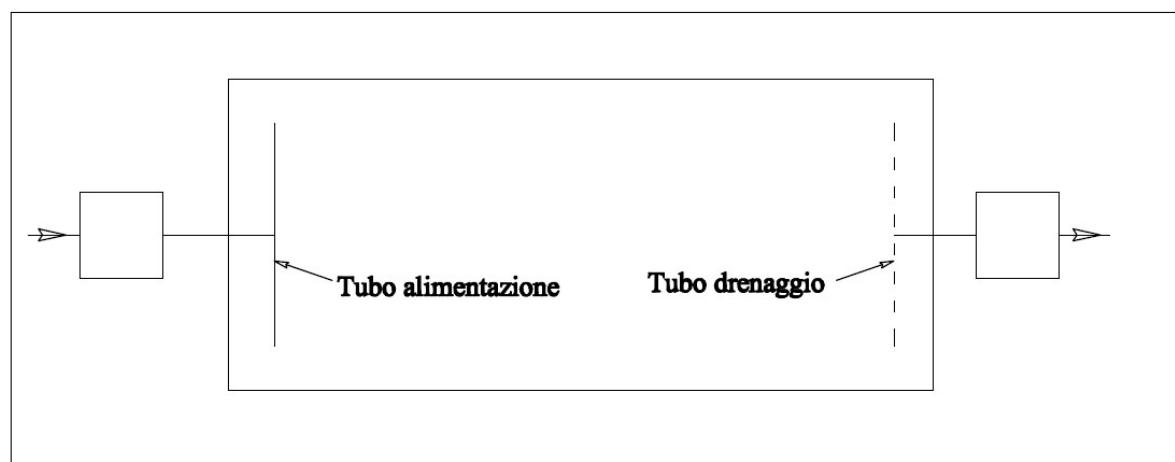
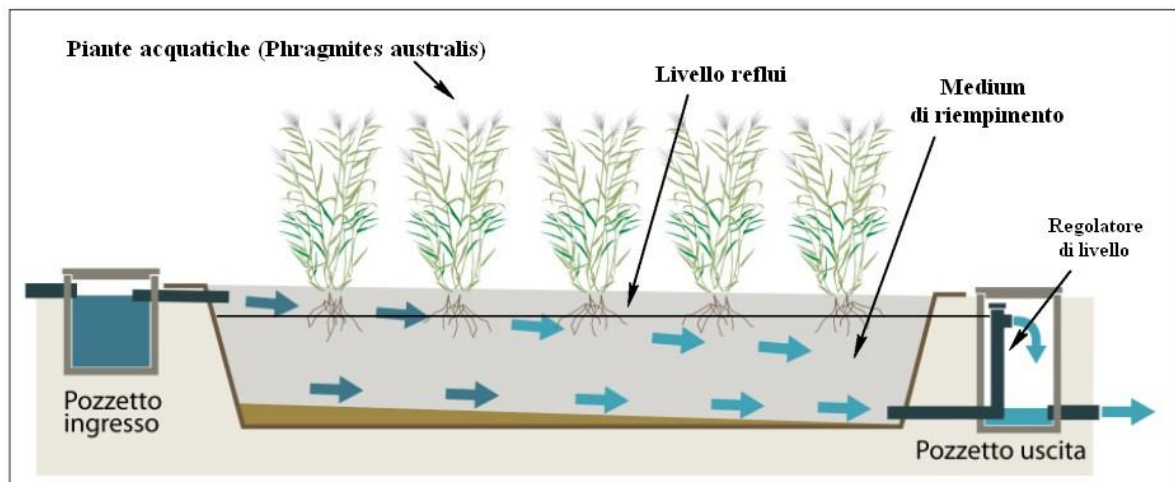
Rispetto ai sistemi a flusso superficiale, in cui lo sviluppo di colonie di microorganismi è limitato ai soli fusti sommersi delle macrofite, la pellicola batterica dispone in questo caso di una maggiore superficie di adesione dovuta alla presenza del medium di crescita, riducendo così l'area richiesta dall'impianto.

In base alla modalità di alimentazione del refluo e al regime di flusso, si distinguono in sistemi a flusso orizzontale, sistemi a flusso verticale e vassoi assorbenti.

### ***2.1.1 Sistemi a flusso sommerso orizzontale (Horizontal Flow – HF)***

I sistemi a flusso sommerso orizzontale sono costituiti da vasche opportunamente impermeabilizzate con manti plastici, riempite di materiale inerte di opportuna granulometria (es. ghiaie), in cui si sviluppano le radici di macrofite emergenti (comunemente utilizzata è la *Phragmites australis*), come rappresentato schematicamente in Figura 2.2.

Il flusso d'acqua è mantenuto costantemente al di sotto della superficie del materiale di riempimento, all'interno del quale si crea un ambiente prevalentemente anossico, ricco tuttavia di micro-siti aerobici posti in corrispondenza delle radici delle piante, che funzionano sostanzialmente come sistemi di trasferimento dell'ossigeno dall'atmosfera all'interno del letto filtrante. E' proprio questa varietà delle condizioni redox del sistema a renderlo estremamente elastico, versatile ed efficiente a fronte di diverse tipologie di reflui da trattare e di variazioni del contenuto inquinante.



**Figura 2.2 Rappresentazione schematica sistema a flusso sommerso orizzontale**

Mentre il refluo attraversa il materiale di riempimento e viene in contatto con la rizosfera delle macrofite (che costituiscono un sistema a biomassa adesa), la sostanza organica e azotata in esso contenuta viene degradata dall'azione microbica; invece il fosforo ed i metalli pesanti vengono fissati per adsorbimento sul materiale di riempimento.

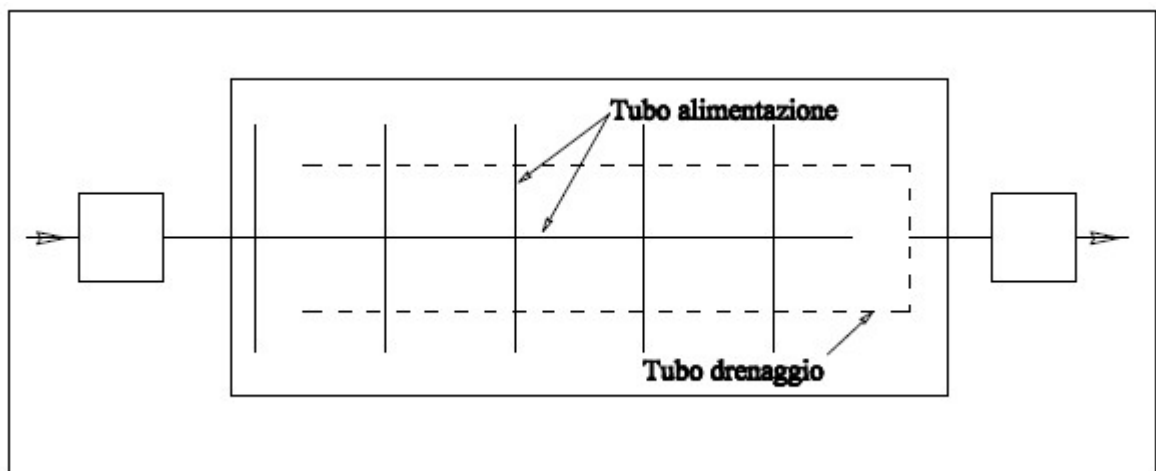
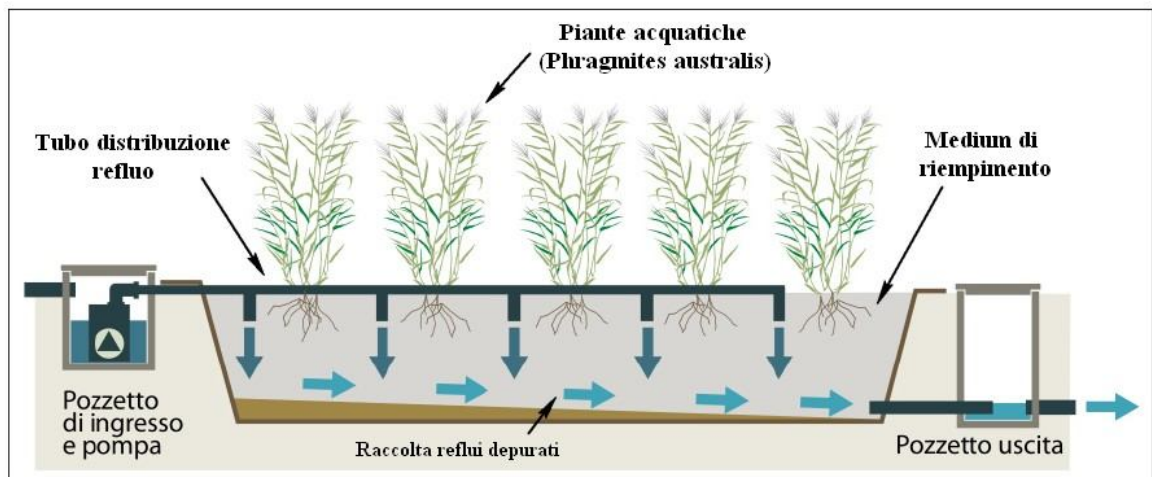
Le specie vegetali contribuiscono al processo depurativo, favorendo da un lato lo sviluppo di un'efficiente popolazione microbica aerobica nella rizosfera e, dall'altro, attraverso l'azione di pompaggio dell'ossigeno atmosferico dalla parte emersa all'apparato radicale alla porzione di terreno circostante, con conseguente migliore

ossidazione del refluo e creazione di una alternanza di zone aerobiche, anossiche ed anaerobiche, consentendo lo sviluppo di diverse famiglie di microrganismi specializzati e la scomparsa pressoché totale dei patogeni, particolarmente sensibili ai rapidi cambiamenti del tenore di ossigeno disciolto.

I sistemi a flusso sommerso orizzontale assicurano una maggiore protezione termica dei liquami nella stagione invernale, soprattutto nel caso in cui si prevede possano verificarsi frequenti periodi di copertura nevosa. Per i sistemi realizzati in aree con clima particolarmente rigido è buona norma prevedere la possibilità di abbassare il livello dell'acqua nella vasca in modo da evitarne il congelamento.

### ***2.1.2 Sistemi a flusso sommerso verticale (Vertical Flow – VF)***

La configurazione geometrica dei sistemi a flusso verticale è molto simile a quella dei precedenti sistemi (Figura 2.3). Anche in questo caso si hanno delle vasche impermeabilizzate riempite con materiale inerte su cui vengono fatte sviluppare macrofite radicate emergenti.



**Figura 2.3** Rappresentazione schematica sistema a flusso sommerso verticale

La differenza principale consiste nel modo in cui il refluo scorre attraverso il medium di riempimento.

Mentre nei sistemi HF si ha un flusso con alimentazione continua e uno scorrimento prevalente in direzione orizzontale, secondo uno schema di reattore “plug-flow”, nei sistemi VF il refluo da trattare viene immesso nelle vasche in modo discontinuo e scorre in direzione prevalentemente verticale.

L'alimentazione intermittente con cicli di riempimento e svuotamento, regolati da un sistema temporizzato o da sifoni auto innescanti, ricrea le condizioni di un reattore “batch” e necessita spesso di almeno due vasche in parallelo, che funzionano a

flusso alternato, in modo da poter regolare i tempi di riossigenazione del letto variando frequenza e quantità del carico idraulico del refluo in ingresso.

Il medium di riempimento di questa tipologia di sistemi deve essere costituito da inerte a granulometria più fine rispetto ai sistemi a flusso orizzontale in modo da consentire una lenta percolazione delle acque e quindi una distribuzione quanto più omogenea possibile su tutta la superficie del letto. Le sabbie grossolane utilizzate generalmente nei sistemi VF presentano una conducibilità idraulica adeguata alla

filtrazione verticale lenta e offrono, inoltre, un rapporto tra volume e superficie più elevato rispetto alle ghiaie adoperate nei sistemi HF, a vantaggio dell'attecchimento della biomassa.

L'alimentazione intermittente del liquame, associata ad un substrato a granulometria differenziata, facilita il drenaggio nel medium di crescita che viene a trovarsi alternativamente in condizioni di carenza e di eccesso di ossigeno. La maggiore areazione del substrato incrementa così i processi aerobici come la rimozione della sostanza organica e la nitrificazione.

I fenomeni di deposizione di materiali sulla superficie del medium di riempimento, dovuti al continuo apporto di solidi sospesi e di sostanza organica, favoriscono in un primo periodo la diffusione omogenea del refluo su tutta la superficie del letto mentre, nel lungo periodo, tali fenomeni devono essere tenuti sotto controllo al fine di evitare formazioni stagnanti nel sistema ed una drastica diminuzione delle capacità ossidative del sistema (e quindi di nitrificazione). De Maeseneer (1997) riporta esperienze applicative in base alle quali i fenomeni di intasamento generalmente non si verificano in condizioni di alimentazione discontinua inferiore al carico idraulico

massimo con una frequenza costante e nel caso si abbia un adeguato sviluppo della vegetazione.

### **2.1.3 Vassoi assorbenti**

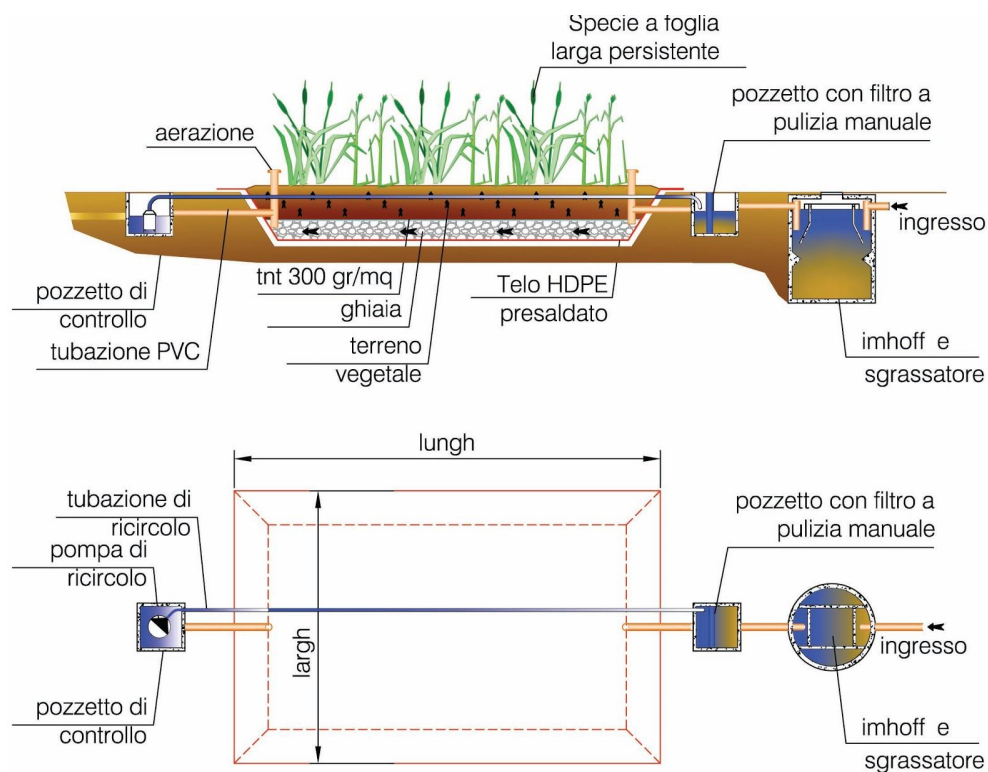
I vassoi assorbenti sono sistemi che hanno l'obiettivo primario, non di depurare i reflui, ma di eliminare totalmente il refluo per evapotraspirazione.

La fitoevapotraspirazione è un trattamento basato sul principio degli impianti di fitodepurazione in cui intervengono processi di tipo biologico, che per particolari caratteristiche si prestano ad essere utilizzati con successo *in presenza di falde d'acqua superficiali* ed in *aree soggette a specifiche norme di tutela, aree sensibili, aree vulnerabili da nitrati* ecc. come meglio specificato nelle Norme del Piano di tutela delle Acque regionale.

In detti impianti interagiscono meccanismi di fitodepurazione associati alla riduzione di volume del refluo fino ad essere completamente evapotraspirato.

L'efficacia e il buon funzionamento di tali tipologie di impianti sono basati su determinati tipi di piante che ben si adattano a vivere e crescere in corpi idrici o in terreni saturi d'acqua, e che per azione diretta e/o per azione dei batteri che colonizzano il loro apparato radicale ed il substrato di coltura circostante, sono in grado di rimuovere la sostanza organica ed i nutrienti, che rappresentano le principali sostanze inquinanti dei liquami domestici.

Contemporaneamente la traspirazione dell'acqua assorbita da parte delle piante, unita alla normale evaporazione della superficie del suolo, consente una forte riduzione del volume dei reflui trattati, fino ad arrivare alla completa evapotraspirazione del liquame e quindi ad azzerare lo scarico.



**Figura 2.4 Rappresentazione schematica sistema ad evapotraspirazione**

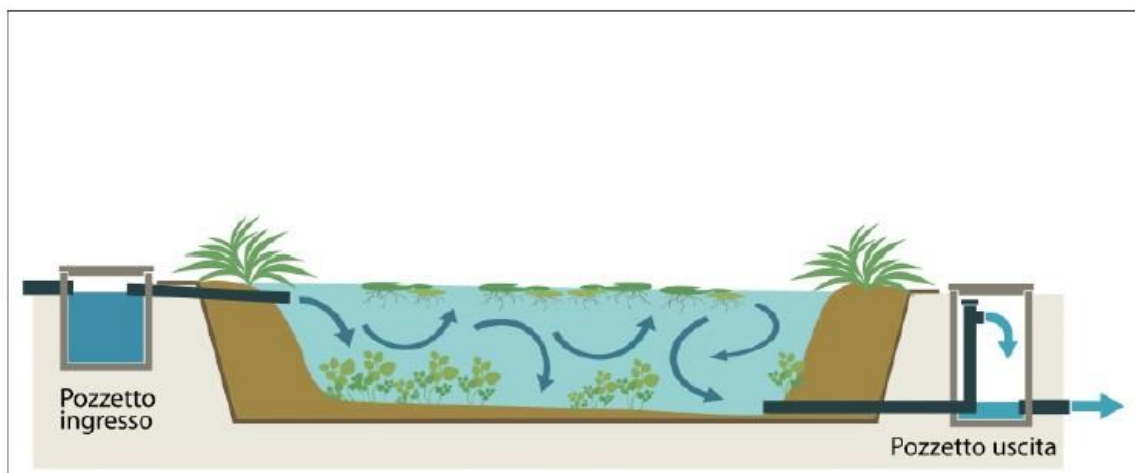
L'impianto di trattamento è costituito da uno o più di vassoi assorbenti in serie contenenti l'apposito substrato di coltivazione per le macrofite, nei quali il liquame scorre e viene depurato dalle sostanze inquinanti ed assorbito dagli arbusti e dalla vegetazione avida d'acqua; e da un sistema di pretrattamento (degrassatore e fossa Imhoff) e di regolazione (pozzetti distributori e regolatori) Figura 2.4.

Il dimensionamento della superficie traspirante viene effettuato sulla base del carico organico e idraulico in arrivo all'impianto e al bilancio idrico all'interno della vasca. Nell'impianto non devono essere immesse le acque meteoriche e per questo l'impianto deve essere dotato di argini perimetrali. [11]



## 2.2 Sistemi a flusso libero (free water system – FWS)

I sistemi a flusso libero o superficiale sono costituiti da bacini o canali, naturalmente o artificialmente impermeabilizzati, in cui il livello dell'acqua è costantemente mantenuto sopra la superficie del medium (Figura 2.5), con un battente idrico tipicamente compreso tra 0,3 e 0,6 m.



**Figura 2.5 Rappresentazione schematica sistema s flusso libero**

Il flusso è indirizzato all'interno attraverso un percorso che comprende la zona di inlet e tutte le aree del sistema fino a una o più strutture di outlet. Le zone a bassa profondità, con bassa velocità di scorrimento e con la presenza dei fusti delle piante, regolarizzano il flusso attraverso la formazione di una moltitudine di piccoli canali che simulano il comportamento di un reattore plug-flow. Uno dei principali obiettivi della progettazione di un sistema FW è garantire il contatto del refluo con la superficie biologia attiva del sistema, per consentire un effettivo tempo di residenza idraulica del refluo nel sistema ed evitare la formazione di corti-circuiti idraulici (Vymazal, 2008).

In questi sistemi i meccanismi di rimozione delle sostanze inquinanti riproducono esattamente quelli presenti nel processo di autodepurazione delle zone umide naturali per la rimozione di organismi patogeni, BOD, COD, solidi sospesi e sostanze nutrienti, nonché metalli pesanti e altri micro inquinanti.

Le sostanze organiche e azotate sono rimosse principalmente attraverso processi biologici in condizioni ossigenate (in corrispondenza della superficie) o anossiche (in profondità), mentre i solidi sospesi possono da un lato essere rimossi (per sedimentazione e/o filtrazione attraverso le piante), dall'altro essere prodotti (ad esempio per la presenza di microalghe, frammentazione dei tessuti vegetali, produzione di fitoplancton, formazione di precipitati chimici). La rimozione del fosforo avviene a ratei piuttosto bassi, attraverso processi di adsorbimento, assorbimento, complessazione, precipitazione.

I sistemi a flusso libero sono generalmente considerati molto efficaci nella rimozione dei microrganismi patogeni. Tuttavia tale efficacia presenta un'estrema variabilità dovuta principalmente alla complessa combinazione di fattori fisici, chimici e biologici che influenzano i meccanismi di rimozione, come ad esempio l'intrappolamento dei microrganismi nel sedimento, l'irraggiamento UV nelle aree più profonde non occupate dalla vegetazione, la presenza di colonie di uccelli che possono provocare apporto di sostanze fecali (Ghermandi, et al., 2007).

Infine i metalli pesanti presenti in un refluo possono essere rimossi attraverso processi come l'up-take delle piante, l'interazione fisica-chimica con il suolo, la formazione di complessi e la conseguente precipitazione (Kleinmann and Girts, 1987).

Le piante maggiormente utilizzate nei sistemi FWS sono tipiche specie paludose; la maggior parte degli impianti utilizza specie singole o in combinazione con specie sommerse, che permettono la presenza di specchi d'acqua liberi. Queste zone garantiscono una maggiore aerazione del refluo consentendo una maggiore rimozione dell'azoto incrementando la nitrificazione.

Comunemente i sistemi a flusso superficiale vengono utilizzati in Italia come stadio di affinamento di effluenti provenienti da trattamenti biologici come i fanghi attivi o gli impianti di fitodepurazione a flusso sommerso, con l'obiettivo di completare la depurazione per restituire il fluido al corpo recettore o riutilizzarlo a scopo irriguo.

# Capitolo 3

## 3 Impianti ad evapotraspirazione

### 3.1 Generalità sugli impianti ad evapotraspirazione

I sistemi ad evapotraspirazione costituiscono un metodo di depurazione possibile e opzionale in quelle zone caratterizzate da un clima arido dove l'aliquota del bilancio idrologico dovuta all'evapotraspirazione annuale supera quella di precipitazione. La scelta di tali sistemi è subordinata all'assenza di acque superficiali in zone vicine. In questa evenienza essi si pongono come una valida alternativa (a volte l'unica) per lo smaltimento dei reflui domestici.

Il meccanismo fondamentale alla base del funzionamento dell'impianto ad evapotraspirazione è la somma di due fenomeni distinti: l'evaporazione dell'umidità dalla superficie del suolo e la traspirazione ad opera delle piante. Teoricamente tale sistema consentirebbe di eliminare grandi quantitativi di acqua in quelle zone contraddistinte da clima caldo-secco, specie nella stagione estiva.

L'azione capillare che si sviluppa nel terreno genera la risalita in superficie dell'acqua e la sua successiva fuoriuscita come vapore acqueo; questo fenomeno è accelerato dalla vegetazione che, attirando e assorbendo acqua dalle radici, la trasporta fino all'apparato fogliare.

I sistemi ad evapotraspirazione rientrano fra i pochi sistemi di depurazione delle acque che non presentano alcuno scarico.

Questi sistemi necessitano di un bacino a tenuta stagna realizzato in calcestruzzo o in muratura o in materiale plastico (per esempio in PVC, in polietilene, etc.).

Questo tipo di impianto abbina il trattamento depurativo con la possibilità di mantenere una superficie vegetale che si inserisce nel territorio con basso impatto ambientale.

### **3.2 Piante utilizzate negli impianti ad evapotraspirazione**

Gli impianti ad evapotraspirazione sono nati come alternativa ai metodi classici della depurazione delle acque.

Caratteristica fondamentale di tali impianti è l'assenza di scarico: lo smaltimento delle acque con tale sistema avviene mediante un'evapotraspirazione di tipo fisico unita al consumo biologico di acqua da parte dei vegetali.

La depurazione dei liquami avviene tramite l'evapotraspirazione di piante sempreverdi. All'interno della vasca vengono piantati arbusti, erbe e fiori che, grazie al processo di traspirazione, accelerano il processo di evaporazione naturale del terreno e sintetizzano le sostanze contenute nei liquami.

Le piante in genere utilizzate nell'evapotraspirazione sono elencate nella tabella 3.1.

<i>Arbusti</i>	<i>Fiori</i>
Aucuba Japonica	Astile
Bambù	Elymus
Calycanthus Floridus	Felci
Cornus Florida	Iris
Cornus Stolinifer	Iris Levigatae
Cotoneaster Salicifolia	Lythrum
Kalmia Latifolia	Nepeta
Laurus Cerasus	Petasites
Rhamnus Frangia	
Sambucus Nigra	
Spirea Salicifolia	
Thuya Canadensis	

**Tabella 3.1 Piante utilizzate nei Sistemi ET**

La scelta delle piante è legata all'ubicazione del sistema ad evapotraspirazione: è consigliabile scegliere piante del luogo e sempreverdi in modo tale da far persistere l'effetto depurativo anche nella stagione invernale (in caso contrario la parte aerea delle piante seccherebbe, venendo a mancare l'effetto di traspirazione, pur continuando l'effetto di depurazione legato alla sua parte sommersa).

Quindi nella scelta della vegetazione da piantare occorre tener conto delle condizioni climatiche in modo tale da favorire un buon sviluppo nel tempo e una maggior resistenza alle avversità climatiche. [12]

### **3.3 Principali componenti di un impianto ET**

La depurazione delle acque si ottiene tramite una serie di trattamenti che vengono distinti in:

- PRELIMINARI: di tipo meccanico come il dissabbiamento, la grigliatura e la disoleatura;

- PRIMARI: in cui vengono eliminati i solidi sospesi;
- SECONDARI: di tipo chimico o biologico, in cui vengono eliminate le sostanze colloidali;
- TERZIARI: in cui l'effluente subisce un ulteriore miglioramento delle sue caratteristiche.

L'impianto ad evapotraspirazione si compone, in genere, di:

1. trattamento preliminare di grigliatura;
2. trattamento primario in fossa Imhofc
3. pozzetto con sifone automatico di cacciata;
4. trattamento secondario/terziario nella vasca di evapotraspirazione;
5. vasca di accumulo e rilancio acque drenate dalla vasca di evapotraspirazione.

Questa tipologia di sistema di depurazione delle acque reflue riproduce i processi autodepurativi naturali in un ambiente maggiormente controllato.

Gli inquinanti sono rimossi da una combinazione di processi chimici, fisici e biologici, tra cui la sedimentazione, la precipitazione, l'adsorbimento, nonché l'assimilazione da parte delle piante e la degradazione attraverso l'attività microbica.

Il dimensionamento è effettuato adottando una superficie del bacino tale che la quantità d'acqua evaporata sia maggiore della somma delle quantità di acqua apportate dai liquami e dalle precipitazioni con riferimento alla stagione più sfavorevole.

Le applicazioni sono possibili solo in zone con forte evaporazione.

L'abbattimento delle sostanze inquinanti delle acque reflue avviene attraverso processi fisici, chimici e biologici che possano avvenire simultaneamente o sequenzialmente nel passaggio del refluo nelle varie sezioni previste per il trattamento ad evapotraspirazione.

I processi che costituiscono la capacità di depurazione del sistema in esame si rifanno essenzialmente a due meccanismi principali, la separazione della fase solida da quella liquida e la trasformazione delle sostanze presenti nell'acqua.

### ***3.3.1 Grigliatura***

Per asportare il materiale grossolano dal refluo esso viene fatto passare attraverso una o più griglie metalliche (con spaziatura diversa tra le barre). Le griglie servono ad impedire che tali corpi entrino nelle tubazioni e sono poste in testa agli impianti di depurazione.

Le griglie possono essere classificate in base alla metodologia di pulizia in griglie a pulizia manuale o meccanica.

Le griglie a pulizia manuale vengono utilizzate in piccoli impianti, quali quelli ad evapotraspirazione. In realtà, queste griglie sono sempre meno utilizzate in quanto la loro pulizia rappresenta un'operazione alquanto sgradevole per il personale addetto.

Nelle griglie a pulizia meccanica, invece, il rastrello è comandato da un temporizzatore programmabile.

La quantità di materiale grigliato è molto variabile e dipende da molteplici fattori fra cui la spaziatura fra le barre.



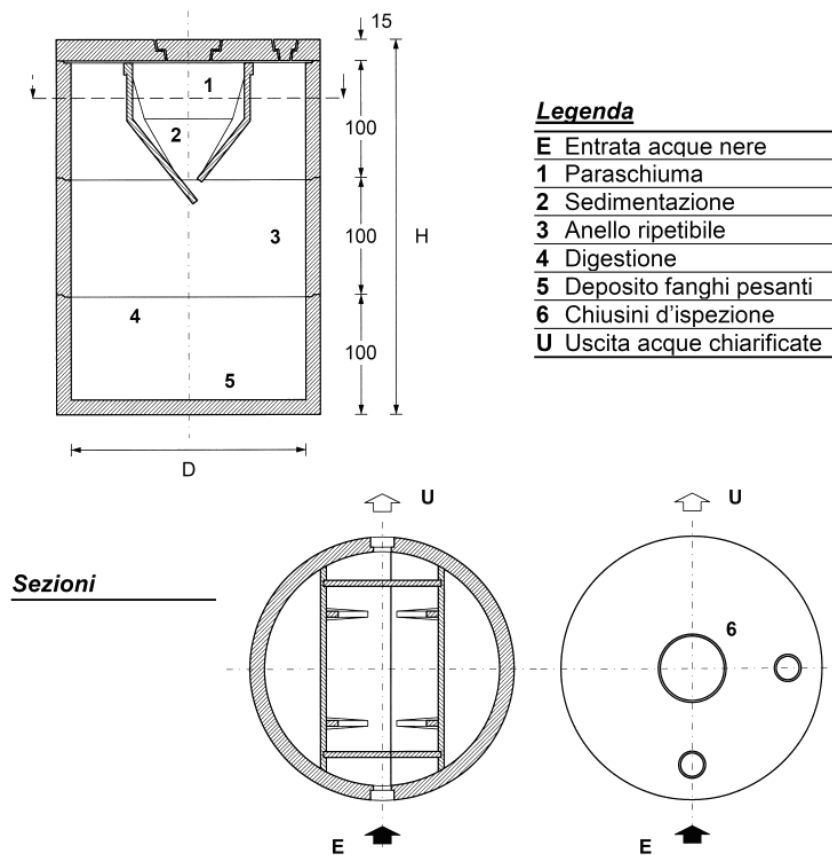
### **3.3.2 Fossa Imhoff**

La fossa Imhoff (Figura 3.1), brevettata nel 1904 dal tecnico tedesco Imhoff, appartiene, e ne è il primo sempio, a quella categoria di impianti compatti di tipo combinato; infatti permette di effettuare due processi di trattamento: un processo fisico (la sedimentazione) e un processo biologico (la digestione anaerobica dei fanghi sedimentati attraverso batteri anaerobici).

Il suo utilizzo risulta essere particolarmente vantaggioso come trattamento primario per gli impianti di piccole dimensioni, o meglio per chiarificare , liquami di tipo biologico provenienti da scarichi di abitazioni.

La fossa Imhoff può essere di forma rettangolare o circolare ed è costituita da due vani sovrapposti e in comunicazione idraulica di tra loro. La parte superiore ha forma a tramoggia con pareti molto inclinate tali da consentire la discesa dei fanghi nel vano di digestione e la sedimentazione delle sostanze sospese sedimentabili contenute nella acqua di scarico; la parte inferiore ha forma di piramide rovescia ed è qui che si ha l'accumulo e la successiva digestione anaerobica del fango che, tramite delle fessure nel vano superiore, giunge continuamente dalla parte sovrastante.

Le vasche settiche di tipo Imhoff, caratterizzate dal fatto di avere compartimenti distinti per il liquame e il fango, devono essere costruite a regola d'arte, sia per proteggere i terreno circostante e l'eventuale falda, in quanto sono anch'esse completamente interrate, sia per permettere un idoneo attraversamento del liquame nel primo scomparto, permettere un'idonea raccolta del fango nel secondo scomparto sottostante e l'uscita continua, come l'entrata, del liquame chiarificato. Devono avere accesso dall'alto a mezzo di apposito vano ed essere munite di idoneo tubo di ventilazione



**Figura 3.1 Vasca Imhoff**

### **3.3.3 Pozzetto con sifone automatico di cacciata**

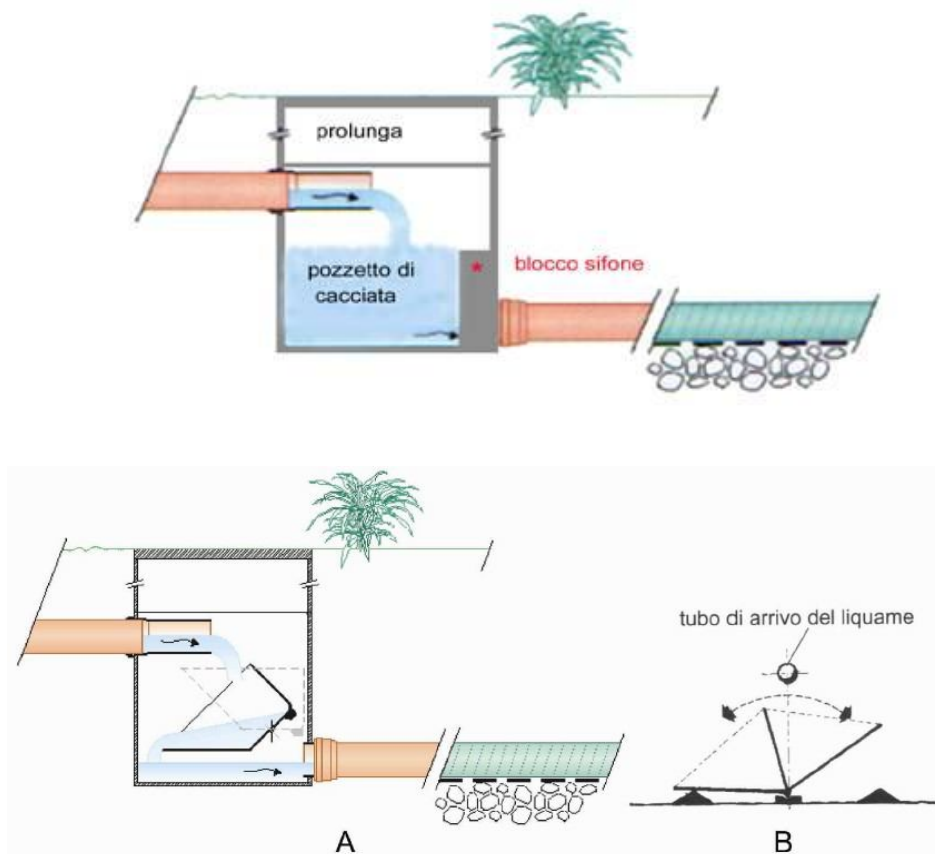
L'effluente della fossa Imhoff viene convogliato in un pozzetto dotato di un sifone automatico di cacciata (Figura 3.2). Tale dispositivo consente di inviare una quantità stabilita di liquido nella condotta con un impulso iniziale in grado di mantenere pulita la condotta disperdente da detriti e depositi vari.

Il suo funzionamento è semplice: nel momento in cui l'acqua raggiunge una certa altezza, stabilita dalla geometria del sifone, si verifica l'adescamento automatico del sifone e lo stramazzo dell'acqua dal pozzetto alla condotta disperdente provocando così un deflusso improvviso d'acqua nella condotta della vasca di evapotraspirazione. Il

pozzetto automatico di cacciata garantisce, inoltre, la distribuzione uniforme del liquame nell'intera condotta disperdente.

Nel pozzetto vengono inoltre reintrodotti gli eventuali reflui in uscita dalla vasca di evapotraspirazione.

L'alimentazione intermittente consente inoltre un buon assorbimento delle acque reflue da parte del terreno, in quanto il terreno è soggetto ad un periodo di riposo fra due dosi successive che rende più efficiente l'assorbimento.



**Figura 3.2 Pozzetto di cacciata senza e con truogolo oscillante**

### ***3.3.4 Rete di distribuzione***

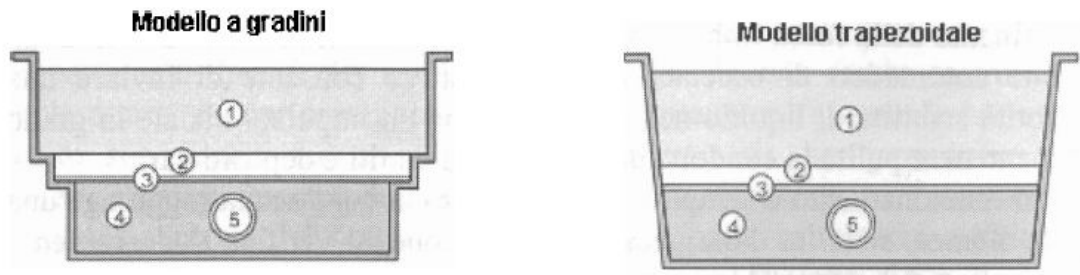
Per quel che riguarda la rete di distribuzione, si utilizzano condotte in PVC del diametro di 100-120 mm, fessurate e posizionate con una pendenza dello 0.2-0.5 % in modo tale da favorire il deflusso del liquame al suo interno.

È opportuno che i tubi siano disposti all'interno della massa ghiaiosa evitando l'intasamento dei fori con terra. Un accorgimento che può essere preso in considerazione per evitare il suddetto inconveniente è quello di avvolgere le tubazioni da una membrana di lana di vetro o nylon di adeguata trama.

### ***3.3.5 Vasca di evapotraspirazione***

Il trattamento secondario, in un impianto ad evapotraspirazione totale, è realizzato dai vassoi assorbenti che smaltiscono il liquame per evapotraspirazione; inoltre gli impianti ad evapotraspirazione totale possono essere realizzati con uno o più vassoi assorbenti.

La vasca di evapotraspirazione è una vasca o bacino con fondo orizzontale a tenuta completamente stagna costruita o in calcestruzzo o in muratura o in geomembrane plastiche (Figura 3.4) (per esempio in PVC, polietilene, o teli in HDPE termosaldati). Nella maggior parte dei casi, ha forma trapezoidale o a gradini (dove ogni gradino identifica una diversa zona di materiale di riempimento). (Figura 3.3)



**Figura 3.3 Tipologie vasche ET**  
**(1. Terra; 2.Sabbia; 3.Geotessile; 4.Ghiaia; 5. Tubo disperdente)**

I letti ad ET totale, in genere, sono piantumati e composti essenzialmente da tre zone (disposte in verticale):

- una zona di distribuzione del liquame costituita, per diversi autori, da ghiaia e tubi di distribuzione;
- una zona dove la risalita capillare, che causa l'ascesa dell'acqua dal livello liquido del liquame (nei vassoi) agli strati superficiali (dove avviene l'evaporazione), sia tale da rendere massima l'evaporazione; inoltre la risalita capillare tende ad aumentare il contenuto d'acqua del riempimento anche in prossimità delle radici più superficiali che più facilmente sono in carenza d'acqua, favorendo in questo modo, anche la traspirazione; questa zona, per diversi autori, è costituita da sabbia;
- uno strato di copertura con una granulometria mediamente più fine della sabbia costituito, per diversi autori, da suolo franco o una miscela di suolo franco e sabbia; la funzione di questa zona è quella di elevare il refluo alla superficie, di diminuire la percentuale di pioggia che si infila nei vassoi (poiché il suolo franco è meno permeabile della sabbia), ma allo stesso tempo di non diminuire

significativamente l'evaporazione (quindi se diminuisce la permeabilità dello strato di copertura è opportuno che diminuisca anche lo spessore dello strato), di fornire supporto e aiuto alle piante poiché tali tessiture sono più coesive rispetto alla sabbia (quindi offrono un miglior ancoraggio alle radici) e migliorano lo sviluppo vegetativo.

Tra la ghiaia e la sabbia si trova un "tessuto non tessuto" (geotessile) di 5-8 mm che ha lo scopo di proteggere la condotta disperdente dalle particelle fini che potrebbero occluderne le fessure.

Le pareti del bacino costituente il vasoio assorbente, dovranno elevarsi sulla superficie della terra vegetale di circa 10 cm, onde evitare fenomeni di ruscellamento di acque meteoriche all'interno della vasca.

All'interno del materiale drenante si inserisce il sistema di distribuzione del liquame realizzato con tubazioni microfessurate.

Le vasche sono dotate anche di un troppo pieno che entra in funzione quando la quantità di acqua immessa tramite la condotta disperdente supera quella massima assorbibile dal terreno; è il caso che si riscontra specie nei periodi invernali in cui l'altezza di precipitazione supera quella di evapotraspirazione. In tal caso il surplus di refluo trattato viene reimpresso a monte del sistema di trattamento. Il troppo pieno di sicurezza sarà posto 5 cm sotto la quota di arrivo dell'effluente.



**Figura 3.4 Geomembrana**

Il dimensionamento della superficie traspirante viene effettuato sulla base del carico organico e idraulico in arrivo all'impianto.

Sulla superficie vengono piantumate varie specie di piante perenni erbacee ed arbustive opportunamente scelte tra quelle maggiormente igrofile, elencate nella Tabella 3.1, tenendo conto oltre dell'aspetto funzionale anche, di quello estetico.

A monte e a valle della vasca sono previsti dei pozzetti d'ispezione che hanno lo scopo di permettere il prelievo di campioni di liquami e rilevare il livello dell'acqua nella vasca.

### ***3.3.6 Pozzetto di ricircolo***

Quando il liquame è in eccesso entra in funzione il dispositivo di troppo pieno che avvia la quota in eccesso al pozzetto di ricircolo. In quest'ultimo è

installata una pompa sommersa che rilancia il liquame a monte della vasca di evapotraspirazione e precisamente nel pozzetto con sifone automatico di cacciata. L'entrata a regime dell'impianto non è istantanea ma richiede qualche settimana per raggiungere le condizioni di regime e varia con la stagione.[12]

### **3.4 Vantaggi e svantaggi degli impianti ad ET**

Di seguito si espongono in maniera sintetica i vantaggi e gli svantaggi nell'impiego di sistemi di trattamento delle acque reflue con la tecnologia ad evapotraspirazione.

#### **Vantaggi:**

- ridotto rischio di contaminazione della falda in quanto la vasca è a tenuta: la vasca può essere completamente costituita da calcestruzzo o prevedere sul fondo un manto impermeabile di materiale opportuno;
- depurazione e smaltimento assicurato anche per le piccole comunità;
- insensibilità nei confronti delle variazioni del carico organico ed idraulico: impianti funzionanti anche per brevi periodi e quindi strettamente legati ai fabbisogni stagionali (zone turistiche, case estive, campeggi, agriturismi, etc.);
- assenza di scarico;
- assenza di rumori durante il funzionamento;
- i costi sono equiparabili con gli altri sistemi di depurazione;



- i sistemi ad evapotraspirazione non sono condizionati dalla geologia del terreno;
- risparmio energetico: energia utilizzata solo per il funzionamento della pompa di ricircolo;
- bassi costi di gestione;
- semplice manutenzione;
- tecnologia idonea per abitazioni estive isolate;
- si inseriscono bene nel territorio circostante dal momento che la parte visibile dell'impianto è costituita da piante di vario tipo.

### **Svantaggi:**

- i sistemi ad evapotraspirazione dipendono dalle condizioni climatiche quali umidità, velocità del vento, radiazione solare, temperatura, precipitazione;
- necessità di ampie superfici; sono adatti per quelle zone dove sono disponibili grandi aree necessarie per la costruzione delle vasche ad evapotraspirazione;
- non hanno una grande capacità di immagazzinamento, problema che si verifica soprattutto in inverno dove si hanno maggiori precipitazioni;
- è possibile far uso di questi sistemi solo in quelle zone caratterizzate da clima arido dove il tasso di evapotraspirazione supera quello di precipitazione;

- sia l'evaporazione che la traspirazione, nonché le reazioni di degradazione biologica delle sostanze inquinanti, sono ridotte alle basse temperature e quando nei mesi invernali la vegetazione è latente;
- l'accumulo di sostanze in vasca può comportare la riduzione, se non la morte, delle specie vegetali piantate e quindi una riduzione della traspirazione;
- la vasca può essere soggetta a fessurazione, se non si prendono i giusti accorgimenti (ad esempio, rimozione di organismi indesiderati). [12]

# Capitolo 4

## 4 Legislazione

### 4.1 Introduzione

Negli ultimi anni si è assistito ad un rapido aumento di interesse ai problemi ambientali sia da parte dell'opinione pubblica che dei governi. Il fenomeno ha raggiunto livelli maggiormente significativi soprattutto nei paesi industrializzati sia perché il problema inquinamento ormai li interessa direttamente sia perché hanno le risorse sufficienti a poterlo risolvere.

Il nostro modo di vivere, di consumare, di comportarsi decide la velocità di degrado del sistema ambiente i cui tempi di adattamento sono più lenti. Soprattutto con riferimento a queste minacce di tipo globale all'ambiente, al clima, all'esaurimento delle risorse naturali, e al retaggio che si lascia alle generazioni future si è affermato il concetto di “sviluppo sostenibile”, che è alla base di molte iniziative internazionali.

Il percorso di tali iniziative porta all'affermazione del concetto di sostenibilità intesa come insieme di relazioni tra le attività umane, la loro costante evoluzione e la biosfera con le sue dinamiche generalmente meno veloci nell'adattarsi ai cambiamenti.

Gli strumenti di intervento sono i progetti di sviluppo sostenibile definiti a livello internazionale e riuniti nell'Agenda 21, documento di propositi e obiettivi programmatici su ambiente, economia e società sottoscritto da oltre 170 paesi a Rio de Janeiro nel giugno 1992.

Conseguenza di ciò è che la legislazione e i programmi di difesa dell'ambiente a livello mondiale, europeo e nazionale, si sono progressivamente orientati verso tre grandi aree di intervento: 1) pianificazione degli usi del territorio e delle risorse naturali compatibilmente con l'ambiente; 2) promozione e sviluppo di tecnologie produttive e di trasporto a basso impatto ambientale e ad alto rendimento energetico; 3) risanamento ambientale di aree e siti contaminati.

La normativa a livello europeo ha subito evoluzioni recenti in vari settori; in particolare sono state emanate negli ultimi anni nuove direttive riguardanti la protezione della risorsa idrica.

Il panorama normativo comunitario ha grande rilevanza per la situazione italiana perché il complesso delle direttive, delle raccomandazioni e dei regolamenti comunitari guida norme e legislazioni dei Paesi membri e di conseguenza anche del nostro.

In generale le direttive comunitarie svolgono il ruolo di grande rilevanza nella promozione della cultura e delle priorità ambientali nell'ambito delle istituzioni pubbliche.

Il "problema acqua" si manifesta sotto due forme: scarsità ed inquinamento; queste sono tra loro strettamente connesse, nel senso che l'esistenza dell'una induce la presenza dell'altra, o ne aggrava gli effetti.

E' questo un concetto di grande importanza perché comprendere che la disponibilità della risorsa non è un problema di carattere meramente quantitativo ma presuppone aspetti di carattere qualitativo significa capire che disponibilità vuol dire disporre di acqua avente determinate caratteristiche qualitative chimico-fisiche e microbiologiche adeguate all'uso a cui quest'acqua è destinata, altrimenti essa, anche se

rientra nel bilancio in termini quantitativi, non è utilizzabile a meno di costosi e complessi trattamenti.

Occorre quindi confrontarsi, quando si parla di risorse idriche, con il loro uso sostenibile: la disponibilità della risorsa, in termini di adeguatezza qualitativa e quantitativa, per i fabbisogni presenti e futuri, è strettamente connessa alla razionalizzazione sia del sistema complessivo dei prelievi sia di quello legato alla restituzione all'ambiente con il relativo carico inquinante.

Negli aspetti di programmazione ed attuazione degli interventi va tenuto conto che l'acqua ha ormai assunto, almeno nei Paesi sviluppati, un valore economico in tutti i suoi utilizzi.

## **4.2 Quadro di riferimento europeo**

La normativa europea persegue l'obiettivo di stabilire un quadro di riferimento per la protezione delle acque dolci, estuari, acque costiere e acque sotterranee all'interno della Comunità”.

Detto quadro deve fare sì che sia protetto e migliorato “lo stato degli ecosistemi acquatici e degli ecosistemi terrestri, con riguardo ai loro fabbisogni idrici,” e deve di conseguenza contribuire a fare sì che sia possibile un “prelievo di acqua nella quantità e qualità necessaria allo sviluppo sostenibile”.

In generale le direttive comunitarie svolgono il ruolo di grande rilevanza nella promozione della cultura e delle priorità ambientali nell'ambito delle istituzioni pubbliche ed il loro recepimento da parte dei governi impone, importanti impegni economici, l'adeguamento dell'assetto normativo e l'esigenza di ridisegnare e attrezzare

l'Amministrazione pubblica in modo adeguato ai nuovi obiettivi che discendono dalle direttive e dagli altri accordi internazionali.

Le principali direttive europee che hanno influenzato il quadro normativo italiano in materia di protezione delle acque dall'inquinamento, sono:

- *Direttiva 75/440/CEE* concernente la qualità delle acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile (recepita con D.P.R. 515/82);
- *Direttiva 76/160/CEE* relativa alla qualità delle acque di balneazione (recepita con D.P.R. 470/82 e s.m.i.);
- *Direttiva 78/659/CEE* sulla qualità delle acque dolci che richiedono protezione e miglioramento per essere idonee alla vita dei pesci (recepita con D.Lgs. 130/92);
- *Direttiva 80/68/CEE* relativa alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento provocato da certe sostanze pericolose (recepita con D.Lgs. 132/92);
- *Direttive 75/464/CEE, 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 88/347/CEE, 90/415/CEE* in materia di scarichi industriali di sostanze pericolose nelle acque (recepite con D.Lgs. 133/92);
- *Direttiva 80/778/CEE* concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano (recepita con D.P.R. 236/88);
- *Direttiva 91/676/CEE* relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole (recepita con D.Lgs. 152/99);
- *Direttiva 91/271/CEE* concernente il trattamento delle acque reflue urbane (recepita con D.Lgs. 152/99);
- *Direttiva 98/83/CEE* concernente la qualità delle acque

- *Decisione 92/446* sui questionari relativi alle direttive del settore Acque, modificata dalla decisione 95/337;
- *Direttiva 2000/60* del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque;
- *Comunicazione della Commissione COM(2000) 477* sulla tariffazione e gestione sostenibile delle acque.

### **4.3 Leggi nazionali**

In Italia il corpo normativo riguardante la difesa della risorsa idrica è stato sempre molto complesso ed articolato; è sufficiente osservare le modalità di recepimento delle sopra citate direttive europee e la copiosa produzione di norme integrative e di aggiornamento alla legge del 10 maggio 1976 n. 319 (Legge Merli), considerata la prima pietra della normativa ambientale riferita alle acque.

Infatti, è stato necessario attendere più di venti anni, tempo intercorso dal 1976 al 1999, data di entrata in vigore del D.Lgs. 152 del 11 maggio 1999, per avere un testo unico sulle acque ed un nuovo quadro organico sulla materia che offrisse aspetti innovativi sul risanamento e sulla tutela delle risorse idriche.

Prima della legge Merli si deve tornare indietro di quasi cinquanta anni per incontrare provvedimenti di rilievo sulle acque e precisamente ci si riferisce ai Regi Decreti del 1933 sulla bonifica integrale ed il Testo Unico sulle acque ed impianti elettrici (R.D. 11 dicembre 1933 n. 1775). Tali provvedimenti, importanti per l'epoca in cui sono stati elaborati, offrivano risposte alle istanze sociali ed economiche di

promozione dello sviluppo e redditività delle attività di bonifica e agricole e della produzione di energia idroelettrica.

Le principali leggi nazionali in materia di protezione delle acque dall'inquinamento, sono:

- *La legge 319/76 (Legge “Merli”)* e successive modificazioni “*Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento*” che contiene le direttive a consentire un impiego più razionale delle acque e regola lo scarico delle acque reflue; Inoltre, indica le competenze pubbliche della materia, con particolare riguardo al controllo degli scarichi e ai servizi di pubblica fognatura.

- *Il D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152, modificato con D.Lgs. 18 agosto 2000, n. 258*

Reca le disposizioni per la tutela delle acque dall'inquinamento, recepisce la direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e la direttiva 91/676/CEE, relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.

- *Il D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152.* Provvede al riordino, al coordinamento e all'integrazione delle disposizioni legislative in materia ambientale. Tale decreto, per quanto riguarda la tutela delle acque, persegue le stesse finalità del D.Lgs 152/99 e recepisce nella Parte Terza la Direttiva 2000/60/CE



#### **4.4 Leggi regionali**

La legge 319/76 nel definire le competenze delle Regioni è stata, fino all'entrata in vigore del D.Lgs. 152/99, la guida ed il riferimento della attività legislativa della Regione Lazio in materia di tutela e risanamento delle acque.

Le principali leggi regionali sono:

- ***L.R. 15 Settembre 1982 n° 41*** La suddetta legge, successivamente modificata con la L.R. del 19/05/1983 n°34, disciplina le acque di scarico provenienti da pubbliche fognature e da insediamenti civili.
- ***L. R. 19 novembre 1983 n. 70*** e successive modificazioni, la Regione disciplina la ricerca e l'utilizzazione delle risorse idriche sotterranee ai fini del corretto e razionale uso delle acque e per la loro tutela dall'inquinamento ed istituisce il catasto dei pozzi a livello regionale, provinciale e comunale;
- ***L.R. 10 maggio 1990 n. 48*** Primi interventi a tutela delle risorse idropotabili;
- ***L. R. 22 gennaio 1996, n. 6*** Individuazione degli ambiti territoriali ottimali e organizzazione del servizio idrico in attuazione della legge 5 gennaio 1994, n.36 (Legge Galli);
- ***L. R. 7 ottobre 1996 n. 39*** Disciplina l'Autorità dei bacini regionali;
- ***L. R. 20 novembre 1996, n. 47*** Attribuzione delle funzioni amministrative di interesse locale nella materia della tutela delle acque dall'inquinamento;
- ***L.R. 6 luglio 1998, n. 24*** Pianificazione paesistica e tutela dei beni e delle aree sottoposte a vincolo paesistico;
- ***L.R. 6 ottobre 1998, n. 45 e successive modificazioni*** Istituzione dell'agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Lazio (ARPA)

#### **4.5 Delibere regionali di particolare interesse ai fini tutela acque**

- ***Deliberazione di Giunta Regionale n. 3381 del 2 agosto 1977*** recante norme per la tutela delle acque dall'inquinamento;
- ***Deliberazione di Giunta Regionale n. 1205 del 20 marzo 1990*** definisce tre Bacini regionali;
- ***Deliberazione di Giunta Regionale n. 3734 del 18 maggio 1991***, istituisce l'Autorità dei Bacini regionali;
- ***Deliberazione di Giunta Regionale n. 5817 del 14 dicembre 1999*** concernente l'attuazione Direttive per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle acque destinate al consumo umano.
- ***Deliberazione di Giunta Regionale n. 317 del 11 aprile 2003*** riguardante la designazione delle aree sensibili;
- ***Deliberazione di Giunta Regionale n.355 del 18 aprile 2003*** concernente la "Prima individuazione di punti di monitoraggio quantitativo e qualitativo delle acque sotterranee.
- ***Deliberazione di Giunta Regionale n.495 del 11 giugno 2004:*** l.r. 6/96 Attuazione del Servizio Idrico Integrato.
- ***Deliberazione di Giunta Regionale n.767 del 6 agosto 2004:*** Individuazione delle zone vulnerabili da nitrati di origine agricola

# Capitolo 5

## 5 Descrizione impianto sperimentale

### 5.1 Generalità sull'impianto sperimentale

L'impianto sperimentale di Evapotraspirazione, si trova nel comune di Civita Castellana ed è a servizio di un'azienda ceramica per la produzione di manufatti sanitari.

L'impianto in oggetto (Foto 5.1) è stato ideato e progettato per il solo smaltimento delle acque domestiche prodotte dai servizi igienici e docce, i quali sono al servizio dei dipendenti dell'azienda ceramica; esse sono le sole acque da smaltire in quanto le acque derivanti dagli scarichi del ciclo produttivo, sono filtrate con l'ausilio di filtropresse ed riutilizzate totalmente nel ciclo produttivo, quindi non ci sono scarichi dovuti ad esso.

La scelta di progettare e realizzare un sistema di smaltimento dei reflui attraverso vassoi assorbenti (E.T.), anziché l'adozione di un sistema più semplice, è legata al fatto che con l'evapotraspirazione si è l'eliminazione totale del refluo, anziché depurarlo, quindi non si hanno problemi di scarico del refluo depurato. In questo particolare contesto, i progettisti hanno scelto tale sistema, prevalentemente per due motivi; il primo è legato alla collocazione geografica dell'azienda ceramica, in quanto si trova in zona agricola, anziché in una zona industriale, quindi non servita da fognatura. Tale zona in più, è stata catalogata anche come zona sensibile con falda vulnerabile,

poiché nelle immediate vicinanze è presente un pozzo di approvvigionamento idrico, al servizio dell'acquedotto comunale. La seconda motivazione è prevalentemente di natura legislativa, in quanto le acque provenienti da un complesso industriale, anche se di natura domestica, sono classificate come industriali, di conseguenza si hanno le stesse prescrizioni e responsabilità penali della gestione delle acque di scarico industriali (D.Lgs 152/06).



**Foto 5.1 Impianto Evapotraspirativo**

La soluzione alternativa a quella della realizzazione di vasche ET, era quella di creare delle fosse stagne con svuotamento periodico da parte di ditte specializzate con costi esorbitanti e costanti nel tempo.

## 5.2 Descrizione LAY-OUT impianto evapotraspirativo

L'impianto, progettato per il trattamento dei reflui domestici (wc, docce) derivante dai servizi di un opificio industriale, si trova su una superficie pianeggiante nelle immediate vicinanze dello stabilimento produttivo. Esso è composta da n° 4 vasche assorbenti in parallelo, di conseguenza ogni vasca opera in maniera autonoma ed indipendente dagli altri; Il vantaggio di ciò, è la modularità con cui è possibile farlo funzionare, in modo da poter far fronte ad aumenti o diminuzione dei flussi. (Figura 5.1)

Prima di arrivare al letto vegetato le acque reflue subiscono un trattamento primario, attraverso due fosse Imhoff del diametro di 150 cm per 285 cm di altezza, le quali sviluppano un comparto di sedimentazione di  $2,6 \text{ m}^3$  ed un comparto digestivo di  $4,8 \text{ m}^3$ .

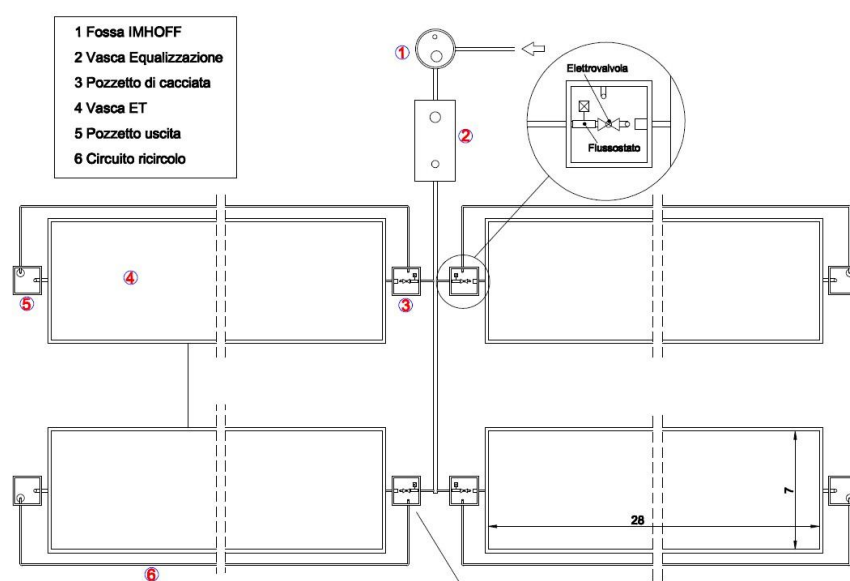
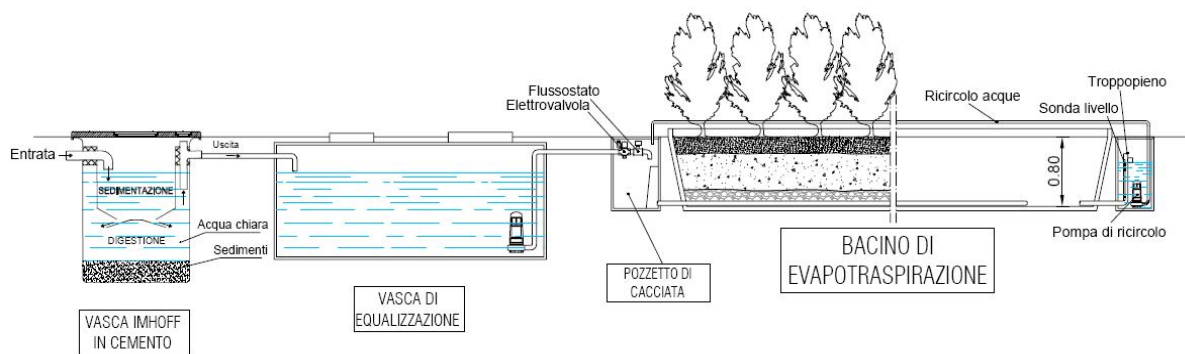


Figura 5.1a Pianta LAY-OUT impianto ET



**Figura 5.1b Sezione impianto ET**

Da qui, le acque vengono convogliate e raccolte in una vasca di *equalizzazione* la quale è una vasca di accumulo dei reflui ed è adatta a rendere costante la portata in ingresso ai trattamenti secondari. La vasca di equalizzazione è stata dimensionata per un numero abitanti equivalenti maggiore rispetto a quelli effettivi, in quanto svolge anche la funzione di accumulo nei periodi sfavorevoli. La vasca è dotata di elettropompa sommersa per acque cariche con girante Vortex con la funzione di alimentazione costante per la successiva sezione di trattamento secondario.

A questo punto, le acque vengono pompate direttamente nei pozzetti con sifone automatico di cacciata, i quali si trovano all'ingresso di ogni vasca ET; Tale dispositivo consente di inviare una quantità stabilita di liquido nella condotta con un impulso iniziale in grado di mantenere pulita la condotta disperdente da detriti e depositi vari.

Nella condotta di distribuzione delle acque provenienti dalla vasca di equalizzazione, il flusso viene indirizzato ai singoli pozzetti di cacciata (Foto 5.2) attraverso l'ausilio di elettrovalvole e misurato, grazie alla presenza di flussometro elettromagnetico che ne misura la portata.



**Foto 5.2 Pozzetto di cacciata con elettrovalvola**

Una volta raggiunge una certa altezza del livello dell'acqua stabilita dalla geometria del sifone, si verifica l'adescamento automatico dello stesso e lo stramazzone dell'acqua dal pozzetto alla condotta disperdente, la quale distribuisce in maniera uniforme il fluido all'interno del vasoio assorbente, attraverso due condotte di dispersione forate.

Le 4 vasche evapotraspiranti, sono di forma rettangolare delle dimensioni di 28 X 7 metri e sviluppano una superficie totale di 784 m<sup>2</sup>. Le vasche hanno una profondità di 0.8 metri e sono realizzate completamente in c.a., per evitare dispersioni e/o fuoriuscita del refluo per percolazione. Internamente sono state riempite, partendo dal fondo con circa 15-20 cm di ghiaione; circa 40 cm di miscela con una predominanza di sabbiosa e per terminare, un leggero strato di suolo franco di copertura.

Per quanto riguarda il materiale vegetale, sono state utilizzate piante di *Prunus laurocerasus* (Lauroceraso), specie sempreverde rustica che per caratteristiche è la più idonea all'impiego. Sulla superficie della vasche, è stato messo a protezione un telo di



pacciamatura evapotraspirante (Foto 5.3) con la funzione di ridurre il passaggio della pioggia, anche se comporta una riduzione del potere traspirante del terreno.



**Foto 5.3 Telo pacciamatura evapotraspirante**

Nella porzione terminale del vasoio, è presente un pozzetto di troppo pieno, il quale regola il livello dei liquidi internamente alla vasca. All'interno della colonna dei troppi pieni, è presente un sensore regolatore di livello il quale gestisce l'elettrovalvola a monte della vasca. Dal pozzetto di troppo pieno, una pompa da immersione, convoglia il liquido in eccesso nel pozzetto di cacciata in modo da essere reinserito nelle vasche.

### **5.3 Calcolo dei flussi**

#### **Abitanti Equivalenti**

Nell'impianto industriale sono impiegati complessivamente n° 80 operai e n° 15 Impiegati amministrativi; Per il calcolo degli abitanti equivalenti, si deve conoscere anche il numero delle docce presenti, le quali sono in numero pari a 28; dal calcolo, risulta che il n° di A.E. è pari a 26,55, approssimato a 27.



Natura della comunità	Apporto idraul. unitario [l/d]	n. AE come carico idraulico	Apporto org. unitario [g BOD <sub>5</sub> /d]	n. AE come carico organico
<i>Uffici</i> per impiegato	50÷75	0,25÷0,37	15÷25	0,25÷0,40
<i>Fabbriche</i> per impiegato ed operaio e per turno, con esclusione degli scarichi industriali per docce per cucine	50÷130 + 20 l + 20 l	0,25÷0,65	20÷35 + 5 g + 9 g	0,3÷0,6
<i>Mense aziendali</i> per pasto	15÷30	0,07÷0,15	8÷15	0,13÷0,25

(80 operai+15 dipendenti) X 50 litri/giorno = 4750 litri/giorno

28 docce X 20 litri/doccia giorno = 560 litri/Giorno

AE: (4750 + 560)/200 = 26,55 AE (approssimato a 27 AE)

### Portata

L'attività lavorativa all'interno dell'industria avvengono 5 giorni a settimana per circa 48 settimane annue, di conseguenza il flusso di reflu da smaltire è il seguente:

$27 \text{ AE} \times 0,2 \text{ m}^3 \times 240 \text{ gg} = 1296 \text{ m}^3 / \text{anno}$

Apporto settimanale:  $1296 \text{ m}^3 / 48 \text{ settimane} = 27 \text{ m}^3 / \text{Settimana}$

Apporto giornaliero:  $27 \text{ m}^3 / 5 \text{ giorni} = 5,4 \text{ m}^3 / \text{giorno}$  (5400 litri/giorno)

### Osservazioni

L'impianto progetta, ha una superficie totale dei vassoi evapotraspiranti di 784 m<sup>2</sup>, e considerando il numero di AE insistenti nell'impianto, si ha una superficie specifica di 29 m<sup>2</sup> di vassoio assorbente per AE.

$784 \text{ m}^2 / 27 \text{ AE} = 29 \text{ m}^2 / \text{AE}$

Dall'analisi dei dati costruttivi e dimensionali degli impianti esaminati nella prima parte del ciclo di dottorato, ne risulta che le vasche evaporative sono leggermente sottodimensionate, in quanto le superficie specifica media rilevata si aggira intorno a 30

m<sup>2</sup>. Apparentemente la superficie specifica sembra elevata, ma come accennato nei capitoli precedenti, sono eccessive, se sono riferite alla sola stagione estiva, mentre risultano sottoporzionate, se riferite alla stagione autunnale/invernale, dove ci sono più precipitazione meteoriche ed una ridotta capacità evapotraspirativa.

## **5.4 Greenhouse ET system**

Per avvenire allo scopo primario della presente ricerca, su un vassoio assorbente, è stata realizzata una Greenhouse ET System, cioè una serra leggera a copertura, composta da una struttura amovibile e fissata a terra tramite zavorre, in modo da non realizzare nessuna opera muraria.

Il telaio portante è in ferro ed è composto da tubolare scatolato opportunamente verniciato. Per quanto riguarda il rivestimento, è stato utilizzato un film plastico in polietilene trasparente il quale è stato posato su tutta la copertura, mentre sulle pareti laterali, è stata opportunamente lasciata la metà inferiore libera, cioè non protetta del telo, in modo da consentire un maggiore ricircolo di aria, agevolata anche dall'effetto camino che si viene a creare.

Lo scopo della posa della Greenhouse ET come copertura alle vasche di ET, è quello di raggiungere un miglioramento quantitativo della resa del processo evapotraspirazione, in quanto:

- Non si va più al sovradimensionamento degli impianti, con conseguente aumento delle superfici impiegate, per fra fronte all'apporto meteorico.
- Aumento del rendimento con l'alterazione alcuni parametri che vanno a migliorare il processo evapotraspirativo.

La capacità di traspirazione dipende da vari fattori, in particolare è potenziato:

- Con clima ventoso e aree asciutte;
- Temperature alte (mesi estivi);
- Scarsa piovosità.

L'applicazione di serre, va a massimizzare il sistema, poiché diminuisce l'apporto di acqua meteorica e nel frattempo aumenta l'evapotraspirazione, andando ad incidere direttamente sui fattori sopra citati.

## 5.5 Funzionamento ed automatizzazione impianto ET

Le quattro vasche ET sono gestite attraverso un'autoregolazione automatica; Sono dotate ognuna, come descritto nel paragrafo 5.2, di un pozzetto di cacciata dove il liquido che giunge dalla vasca di equalizzazione, viene regolato da un'elettrovalvola e misurato attraverso un flussimetro elettromagnetico.

Tutto il sistema di regolazione del refluo alle vasche, apertura e chiusura elettrovalvole e la misurazione del flusso, vengono gestite attraverso un PLC (*Programmable Logic Controller*) (Foto 5.4) con il quale è possibile eseguire programmi attraverso l'elaborazione dei segnali digitali ed analogici provenienti da sensori presenti.

Nel momento in cui la vasca inizia la saturazione, vi è l'innalzamento del livello del liquido all'interno del tubo di troppopieno, nel quale è presente una sonda di regolazione con impostazione max e min del livello. Il sensore di "max" manda l'impulso al PLC di chiudere l'elettrovalvola presente a monte del pozzetto di cacciata ed si interrompe il flusso del liquido all'interno della vasca, fino a quando il sensore di "min" non dà di nuovo l'impulso al PLC di aprire l'elettrovalvole ed immettere nuovo refluo nella vasca. Quando tutte le elettrovalvole sono chiuse, in quanto tutti i vassoi sono saturi, il PLC a sua volta, dà il comando alla pompa rotante vortex immersa nella vasca equalizzazione, di non pompare più refluo. Per evitare che si verifichi la tracimazione della vasca di equalizzazione, è presente un allarme visivo (lampeggiante) e sonoro che avverte gli addetti, nel momento in cui un sensore posto all'interno della stessa, raggiunge un livello impostato.

Attraverso il PLC è possibile misurare e registrare, grazie alla presenza di una memoria interna, anche il flusso di liquido immesso nelle singole vasche, grazie ai flussimetri posti a valle delle singole elettrovalvole.



Foto 5.4 Cabina con quadro comando PLC

Il motivo per cui è stato scelto questo impianto ET come rappresentativo, è proprio il fatto che con questo sistema è possibile conoscere con precisione il flusso immesso nei vassoi ed avere dati attendibili di efficienza del sistema.

# Capitolo 6

## 6 Elaborazione dati

### 6.1 Caratteri climatici

L'area del comune di Civita Castellana, compresa tra la pianura del Tevere ad est, e i rilievi vulcanici Vicano ad ovest, presenta un regime climatico mediterraneo di transizione, caratterizzato da un periodo di siccità estivo nei mesi di giugno e luglio e da precipitazioni concentrate nel trimestre invernale da ottobre a dicembre con un regime di precipitazioni medio annue che si aggira intorno ai 1070 mm con una temperatura media annua di 15°C e la temperatura media del mese più freddo pari a 6,5°C.

Adottando il sistema di Thornthwaite, che considera anche il fattore di evapotraspirazione il clima, tra i 150 m e 530 è di tipo umido.

Regime d'umidità: xerico

Regime termico: termico

Per fare un'analisi dell'andamento climatico specifico della zona nel periodo in cui si è effettuata la presente ricerca, abbiamo preso i valori riportati sul sito dell'ARSIAL [14] riferiti agli ultimi tre anni dal 2012 al 2014. La stazione meteo di riferimento per il rilievo dei dati meteorologici, gestita dal Servizio Integrato Agrometeorologico della Regione Lazio, (SIARL), è posta in loc. Pantalone nel comune

di Corchiano (VT). La stazione denominata VT12SPE dista circa 3.6 Km dell'area dell'impianto.

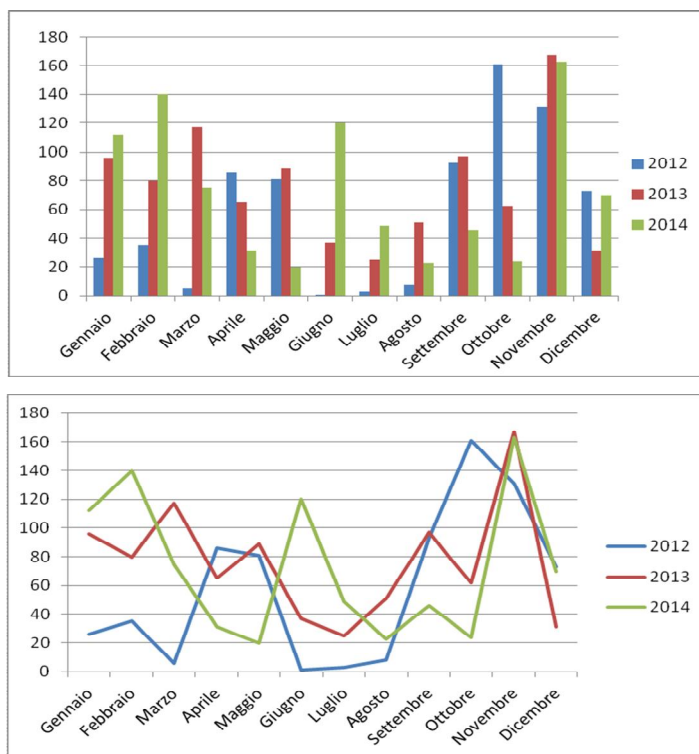
CORCHIANO - Anno 2013 - mm di pioggia												
giorno	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
1	0,6	0	0	14,4	0,6	6,2	0	0	0	0,2	0,2	0
2	0,2	5	0,4	7,6	3	3,4	0	0	0	0	1,8	0
3	0,2	1,4	0	2,2	0	8,4	0	0	0	0	1	0
4	0,2	0	0	0	0	3,2	2,8	0	0	8,2	18,7	0,2
5	0,2	0	1,2	6,8	7,2	2,8	0	3	0	13,5	8	0,2
6	0,2	6,6	11,1	0	16	1,2	0	1,6	0	7,8	0,2	0
7	0	8	1,4	0	10,4	0	0	3,4	0	0,2	0,4	0,2
8	0,2	0	5,2	2	0	0	2,8	0	0	6,4	0,4	0
9	0	0	0	4,6	0	0	1,4	0	3,4	0,4	2,8	0
10	3,2	0	11,8	0	0	3,6	1,4	0	4,4	0,8	7,1	0,2
11	3,6	12,9	3,4	0	0	2	0,8	0	0	2,2	13,4	0,4
12	0,2	0	34	0	3,8	0	2,4	0	0,4	4,3	2,4	0
13	14,4	0,2	5,4	0	0,2	0	0	0	5,2	0	0	0
14	17,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	6,4	0,4	0	0	0,4	0	0	0	6	0,4	10,6	1
16	12,7	0	0	0	7,4	0	0	0	4,9	1	2,2	0,2
17	5	1	2,6	0	12	0	0	0	5	2,2	1,6	0,2
18	0,4	0,2	9,6	0	0	0	7,4	0	0	0	0,2	0,2
19	4,2	0,2	0	0	0	0	5,4	0	0	0	27,2	0,2
20	5,4	0,2	8,6	0	0	0	0	5,6	0	1,2	30,4	1,4
21	4,6	3,6	1,6	0	7	0	0	6,3	0	0	12,6	0,2
22	2	10	0	8	0	0	0,2	4,2	0	0	10,8	0
23	4	24,9	0	6	13,2	0	0	0	0	0,2	9,8	0,2
24	1,8	4	0	0	0	0	0	0	3	4,2	3,2	0
25	0	1,6	12,3	0	0	0	0	18,9	1	4,2	1,6	1,2
26	0	0	0	3,6	3,8	0	0	0	4,2	3,2	0	15,2
27	0	0,2	0	7,2	1,2	0	0	3,2	5	0,4	0	0
28	8,8	0	2	2,4	2,2	4,2	0	2	0,2	0	0,4	0,2
29	0	---	1	0	0	2	0	0	22,1	0,2	0,2	2
30	0,2	---	2	0	0,4	0	0	3	32,2	0,2	0,2	7,4
31	0	---	3,2	---	0,2	---	0	0	---	0,2	---	0
Tot. mens.	96,2	80,4	116,8	64,8	89	37	24,6	51,2	97	61,6	167,4	30,8
G. piov.	15	12	18	11	14	10	8	10	13	16	21	7
Totale annuo: 916,8 mm						Giorni piovosi: 155						

**Tabella 6.1 Precipitazioni stazione VT12SPE anno 2013**

Dall'analisi dei dati degli ultimi tre anni, si può notare come le precipitazioni cumulate mensili, non sono regolari in tutti gli anni; infatti come si può vedere dal grafico sotto riportato (Grafico 6.1), nel 2012 le piogge erano maggiormente concentrate nel periodo primaverile e autunnali; Nel 2013 (anno di riferimento per il campionamento dei vassoi assorbenti) le precipitazioni sono state abbondanti nel periodo inverno e successivamente autunnale (Tabella 6.1), mentre nell'ultimo anno di

osservazione dei dati meteorologici, si sono avuti tre picchi di precipitazione di cui uno invernale, uno estivo e l'ultimo autunnale.

Facendo un'analisi degli ultimi tre anni, non si è potuto osservare un andamento simile delle precipitazioni degli anni campionati, e ne risulta un andamento non regolare e molto eterogeneo.



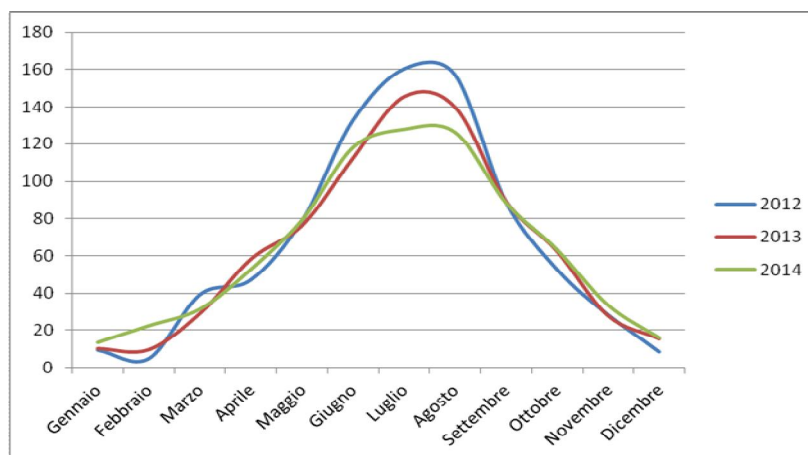
**Grafico 6.1 Istogramma e grafico a linee del confronto pioggia cumulata mensile 2012-2014**

Altro indice importante, è il consumo di acqua che è calcolato con l'evapotraspirazione (grafico 6.2), cioè la perdita di acqua attraverso i processi di *evaporazione* e *traspirazione*. Le curve originate dai valori di evapotraspirazione degli ultimi tre anni, hanno lo stesso analogo andamento e precisamente hanno un picco nel periodo estivo, nel quale i due processi (E, T) hanno i massimi valori, per le temperature elevate, la ventosità e l'umidità bassa. Mentre nei mesi autunnali-invernali, i valori sono



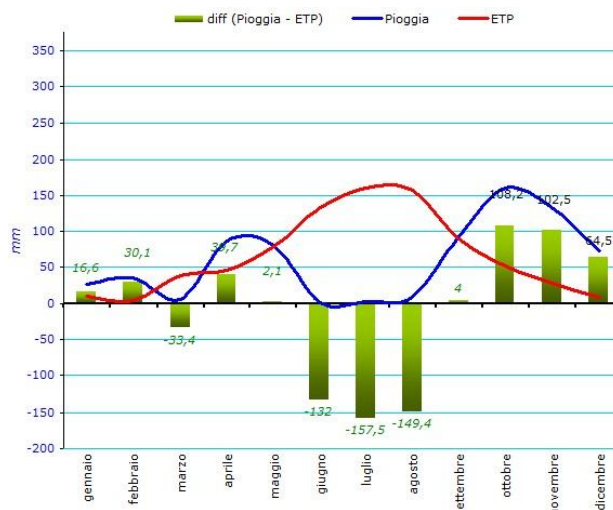
più bassi in quanto si registrano temperature più basse con precipitazioni ed umidità maggiori, quindi una capacità ridotta delle piante ad evapotraspirare.

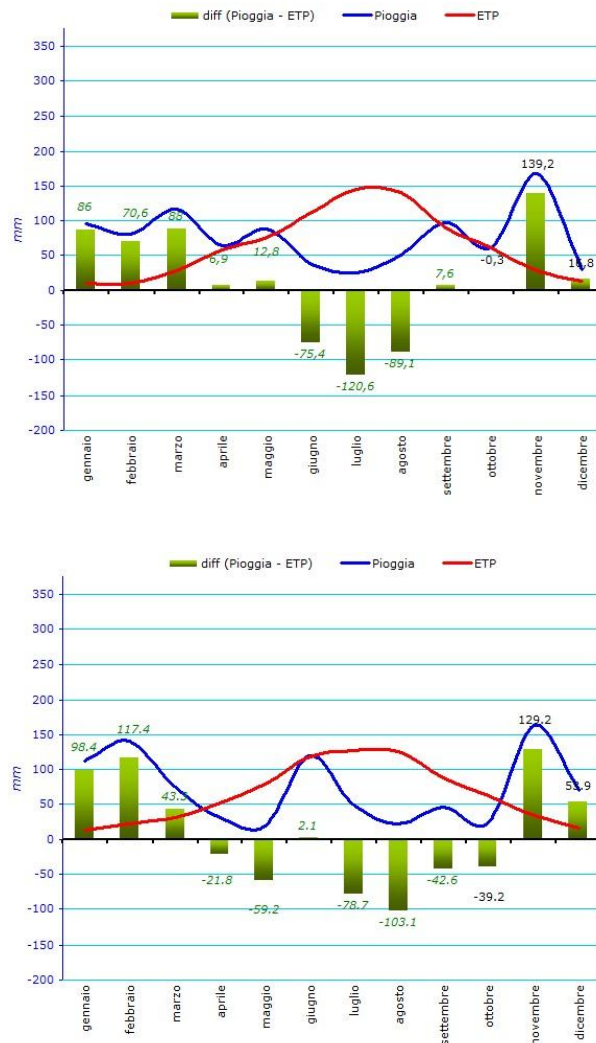
L'evapotraspirazione segue di pari passo l'andamento delle temperature, avendo così maggiore ET nei mesi caldi, per passare a livelli medi/bassi nel periodo autunnale-invernale.



**Grafico 6.2 ETP 2012-2014**

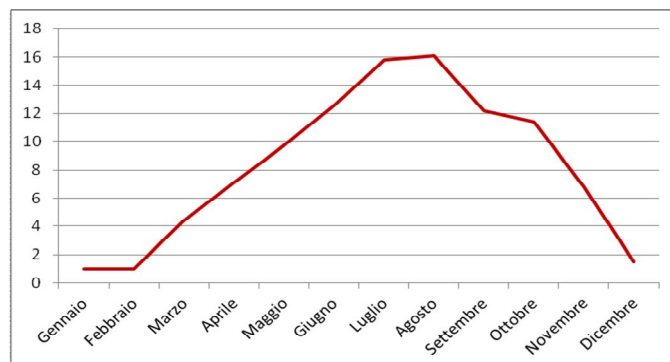
Mettendo a confronto il grafico dell'ETP con il grafico della piovosità si può ricavare il bilancio Idroclimatico (Grafico 6.3) il quale consente di stimare le disponibilità idriche e le eventuali condizioni di siccità che caratterizzano le diverse aree della regione nel corso dell'anno. I grafici che seguono sono stati elaborati a partire dalla formula di Thornthwaite, pertanto a causa dell'empiricità e dell'approssimazione del metodo di calcolo sono da ritenersi puramente indicativi.



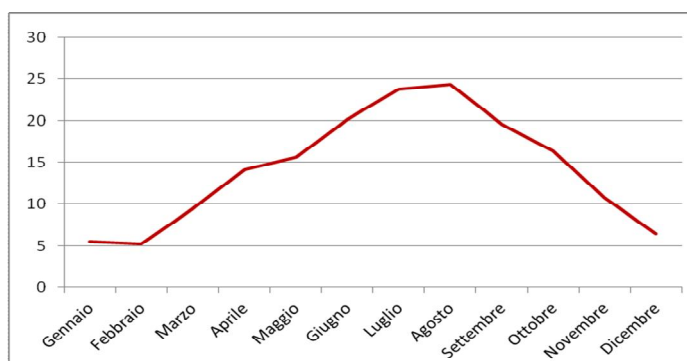


**Grafico 6.3 Bilancio idroclimatico 2012-2013-2014**

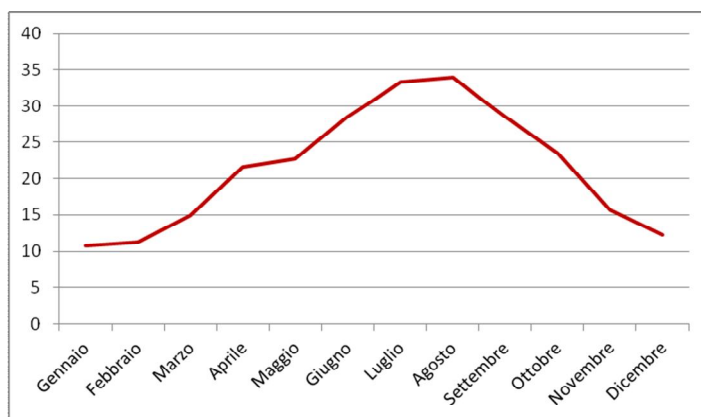
Un altro aspetto molto importante è la temperature. In particolare abbiamo riportato i grafici delle temperature medie mensili minime, medie e massime riferite al solo anno 2013 (quello di analisi impianto) e si nota che i tre grafici hanno lo stesso andamento (Grafico 6.4).



media delle temperature minime



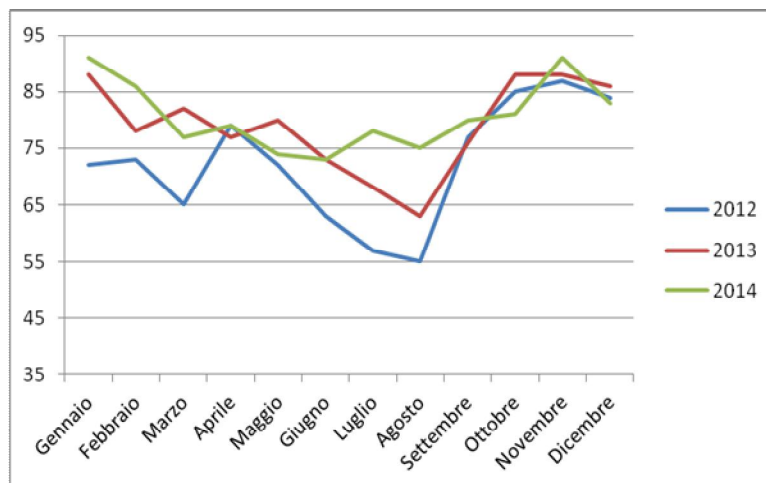
media delle temperature medie



media delle temperature massime

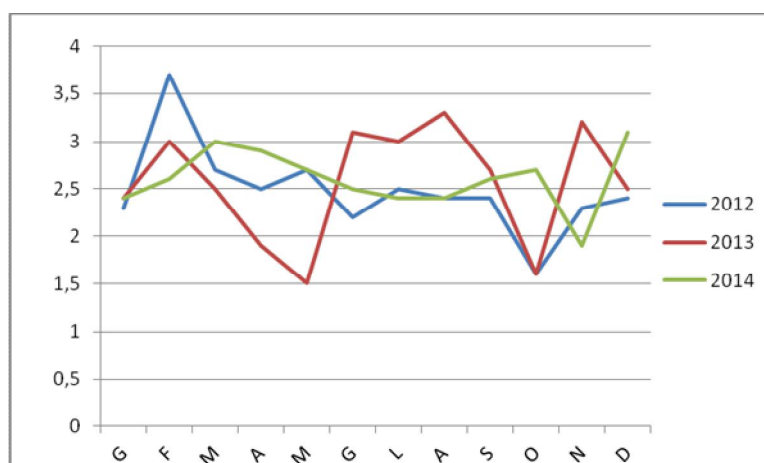
**Grafico 6.4 Andamento della media delle temperature minime, medie e massime mensili 2013**

Per quanto riguarda l'andamento dell'umidità atmosferica, come accennato sopra, si hanno percentuali minori nei periodi estivi e picchi maggiori nel periodo autunno/invernale (grafico 6.5).



**Grafico 6.5 Umidità media (%) mensile 2012-2014**

In fine per quanto riguarda la velocità del vento, l'andamento della curva è abbastanza eterogeneo e non segue un andamento fisso (Grafico 6.6).



**Grafico 6.6 Andamento velocità vento (m/s) media mensili 2012-2014**

## **6.2 Descrizione metodo campionamento**

Per lo svolgimento di questa ricerca ed il raggiungimento degli obiettivi prefissati, i dati da monitorare e rilevare, sono solo quelli associati al flusso di liquido evapotraspirato dai vassoi dell'impianto oggetto di ricerca.

Attraverso la quantificazione del flusso immesso nelle singole vasche ET, è possibile analizzare la capacità evapotraspirativa di esse e confrontare la resa tra il vasoio "convenzionale" e quello integrato in "GreenHouse ET System".

Le fasi di prelievo dei dati di evapotraspirazione delle vasche, è stato molto semplice in quanto, essendo un impianto automatizzato e gestito da un hardware (PLC), è stato possibile regolare e registrare con precisione i flussi immessi nelle singole vasche. Grazie all'ausilio di questa tecnologia, abbiamo monitorato il sistema impianto per un periodo abbastanza ampio, con memorizzazione giornaliera dei flussi immesse nelle vasche, in modo da rendere l'analisi dei dati attendibili e significativi.

La fase di monitoraggio dell'impianto è stata condotta da Febbraio 2013 fino a Dicembre 2013, ad eccezione del mese di Agosto, dove lo stabilimento produttivo è fermo per ferie estive.

Per consentire un'analisi comparativa tra i vassoi assorbenti, si è dovuti procedere con la riprogrammazione del software del PLC in quanto il programma di funzionamento impostato, prevede che il flusso viene distribuito uniformemente nelle quattro vasche. Con questo sistema non c'è la possibilità di ricavarci le rese evapotraspirative delle singole vasche in quanto, essendo dimensionate per consentire l'eliminazione totale del refluo nelle situazioni peggiorative di E.T., nel restante periodo dell'anno il refluo prodotto è minore di quello che potenzialmente può essere E.T.,

quindi non è possibile sapere se un sistema integrato con GreenHouse può essere vantaggioso o no.

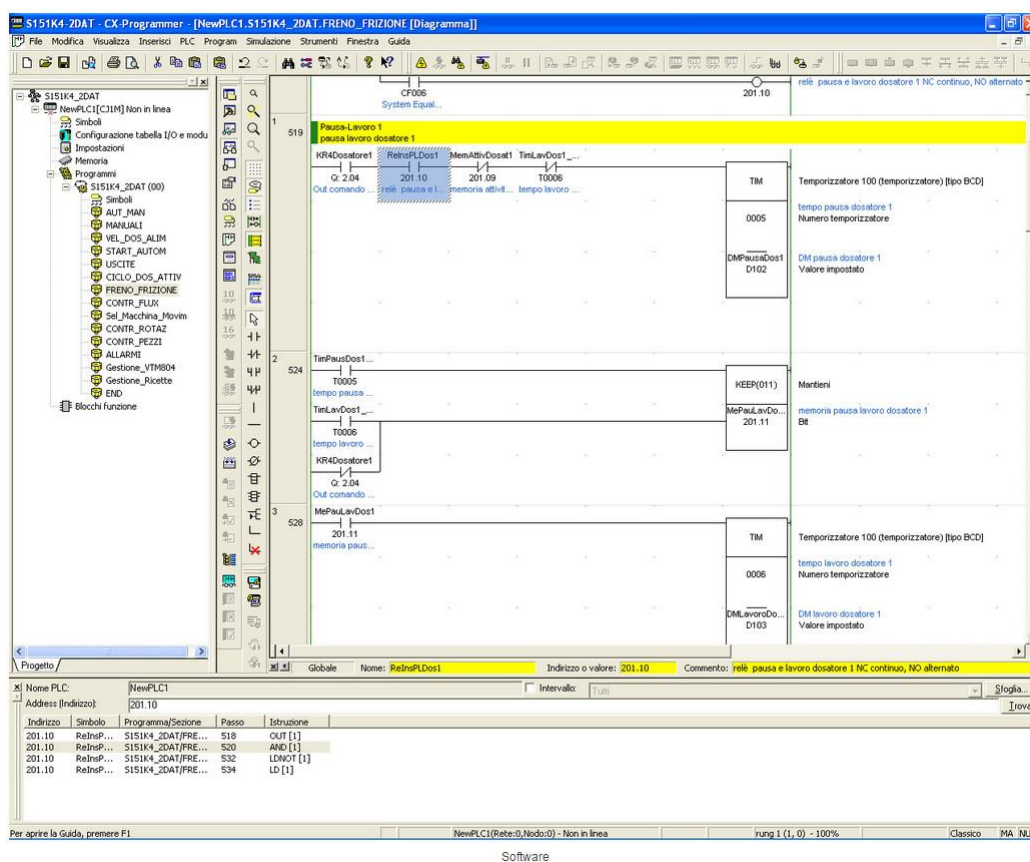


Foto 6.1 Screenshot PC interfaccia programmazione PLC

La riprogrammazione del software del PLC è avvenuto interfacciandolo ad un PC portatile attraverso un cavo dati (Foto 6.1). Attraverso questa operazione sono stati impostati due programmi che per comodità chiameremo “*programma A*” e “*programma B*”.

Il **Programma A** impostato per il periodo che va da Febbraio a Maggio e da Settembre a Dicembre, consente al sistema di mantenere la saturazione nelle vasche 1 e 2 (la vasca 1 è quella integrata con GreenHouse) e di convogliare il flusso alle altre due vasche nel momento in cui le prime sono saturate. Questo programma gestisce il flusso nei periodi con minore capacità evapotraspirante.

Il **programma B** è stato impostato invece per il periodo da Giugno ad Agosto, dove si ha la massima capacità evapotraspirativa. Con questa programmazione, il PLC gestisce la saturazione della vasca 1 e vasca 2 a giorni alternati in quanto teoricamente in questo periodo, quasi la totalità del refluo prodotto giornalmente, potrebbe essere smaltito da un unico vassoio. Il surplus di refluo, viene convogliato in maniera alternata nelle altre due vasche, la 3 e la 4.

### 6.3 Analisi dei risultati sperimentali

Di seguito saranno presentati i risultati del monitoraggio giornaliero dell'impianto di evapotraspirazione dei reflui domestici.

Grazie alla presenza di una SD (Memoria dati) interna al PLC, ci siamo scaricati i valori esatti dei flussi di refluio immesso nelle singole vasche e per ogni mese ne abbiamo ricavato una tabella excel (Tabella 6.2) dei valori reali giornalieri.(allegato 1)

#### FEBBRAIO

Giorno	Febbraio precip	VASCA 1 litri/g	VASCA 2 litri/g	VASCA 3 litri/g	VASCA 4 litri/g	TOT
1	0	1593	1350	1174	1174	5290
2	5					
3	1,4					
4	0	1617	1370	1183	1181	5351
5	0	1599	1355	1186	1186	5325
6	6,6	1531	1225	1277	1279	5312
7	8	1538	1230	1182	1184	5134
8	0	1540	1305	1228	1229	5302
9	0					
10	0					
11	12,9	1464	1190	1271	1268	5193
12	0	1446	1225	1343	1340	5354
13	0,2	1548	1290	1247	1245	5330
14	0	1552	1315	1244	1241	5352
15	0,4	1602	1335	1128	1126	5190
16	0					
17	1					
18	0,2	1587	1345	1321	1323	5576
19	0,2	1564	1325	1235	1237	5361
20	0,2	1534	1300	1259	1257	5350
21	3,6	1574	1280	1260	1558	5372
22	10	1378	1120	1413	1410	5321
23	24,9					
24	4					
25	1,6	1512,9	1230	1203	1206	5152
26	0	1493	1265	1230	1233	5221
27	0,2	1564	1325	1236	1239	5364
28	0	1628	1380	1283	1283	5575
29	—					
30	—					
31	—					
Tot. mens.	80,4	30862	25760	24902	25198	106425
MEDIA		1543	1288	1245	1260	5321
G. LAVOR.	20					

Tabella 6.2 Valori reali dei flussi nelle singole vasche Mese febbraio



Conoscendo i flussi giornalieri, ci siamo potuti ricavare il valore medio riferito alle singole vasche; I dati reali attendibili, sono soltanto quelli riferiti alle sole vasche 1 e 2 in quanto con la riprogrammazione del PLC, viene mantenuto lo stato di saturazione solo nelle vasche 1 e 2 . I valori registrati nelle altre due vasche sono inferiori rispetto alle prime due. Questa differenza è molto più marcata nel periodo primaverile-estivo, rispetto a quello invernale.

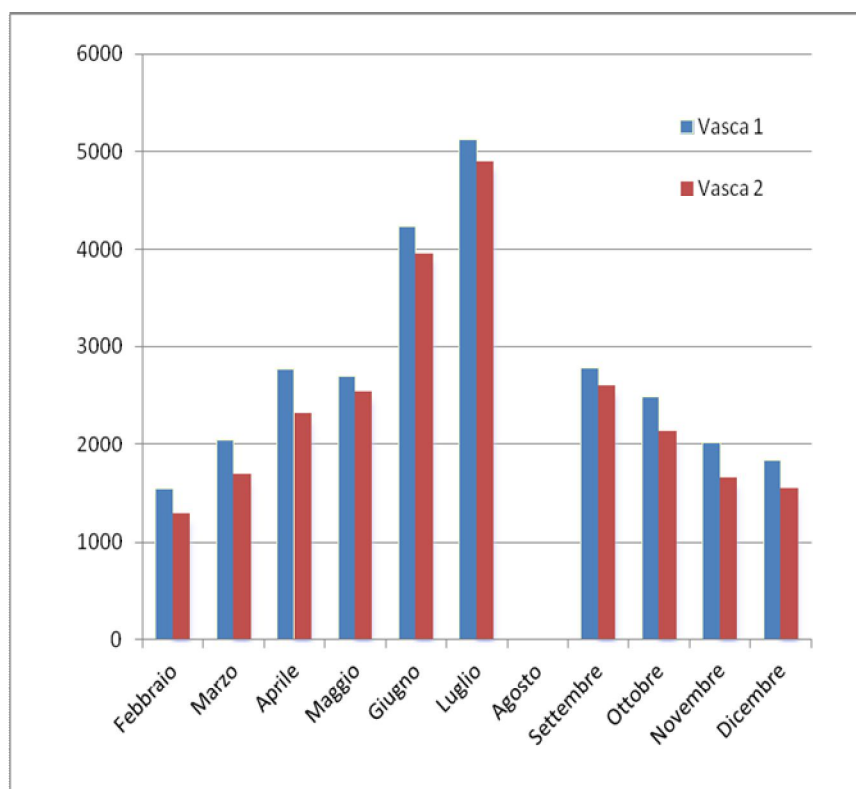
Nella Tabella 6.3 vengono riportati tutti i valori medi mensili del refluo immesso nelle singole vasche e possiamo osservare come la quantità totale di refluo è più o meno costante in tutto l'anno con valori più alti nel periodo estivo. Il valore medio del flusso è di circa 5480 litri/giorno.

Mese	VALORE MEDIO VASCA 1 litri/giorno	VALORE MEDIO VASCA 2 litri/giorno	VALORE MEDIO VASCA 3 litri/giorno	VALORE MEDIO VASCA 4 litri/giorno	Flusso medio TOTALE giornaliero
<b>Gennaio</b>	\	\	\	\	\
<b>Febbraio</b>	1543	1288	1245	1260	5321
<b>Marzo</b>	2052	1692	867	868	5480
<b>Aprile</b>	2765	2318	217	216	5515
<b>Maggio</b>	2699	2531	125	125	5481
<b>Giugno</b>	4227	3962	1568	1287	5561
<b>Luglio</b>	5121	4902	766	453	5619
<b>Agosto</b>	\	\	\	\	\
<b>Settembre</b>	2782	2591	83	83	5540
<b>Ottobre</b>	2477	2134	515	515	5641
<b>Novembre</b>	2017	1662	836	836	5350
<b>Dicembre</b>	1829	1547	1007	1007	5391

**Tabella 6.3 Valori dei flussi medi mensili delle vasche ET**

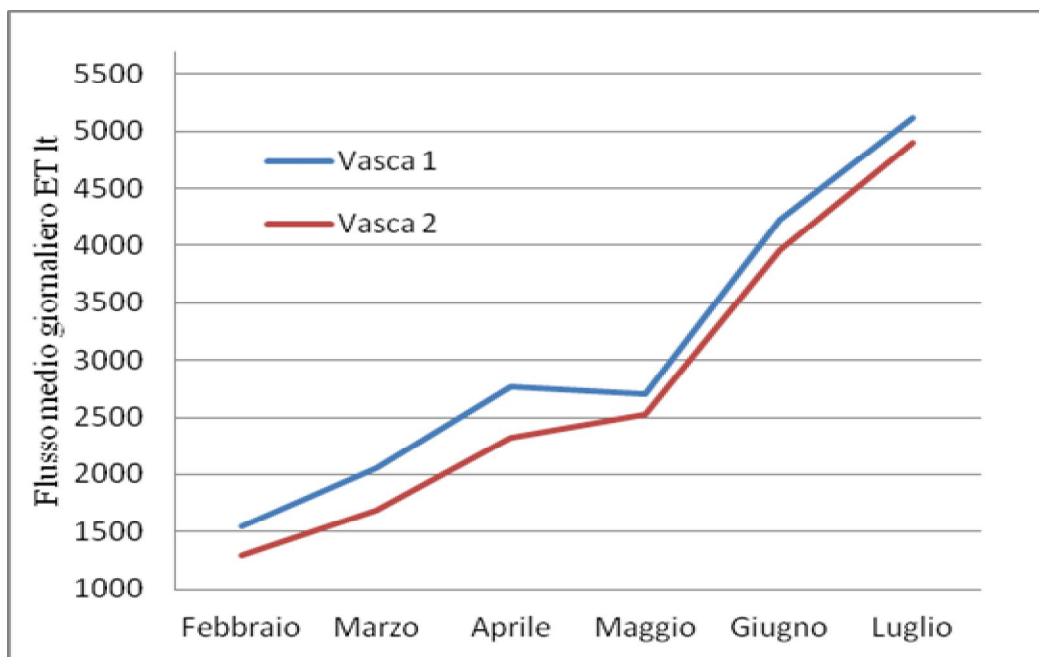
Andando ad esaminare con dettaglio i valori della colonna 1 (reflui al vassoio ET integrato con green house) e quello nella colonna 2, cioè i flussi riferiti alla vasca “convenzionale”, a prima vista si nota subito che i valori riferiti alla vasca 1 sono

superiori per tutti i mesi esaminati, di conseguenza si intuisce a prima vista, un miglioramento della resa evapotraspirativa; infatti come possiamo vedere dal Grafico 6.7, tendenzialmente i valori della prima colonna, che sono riferiti alla vasca 1, sono superiori.

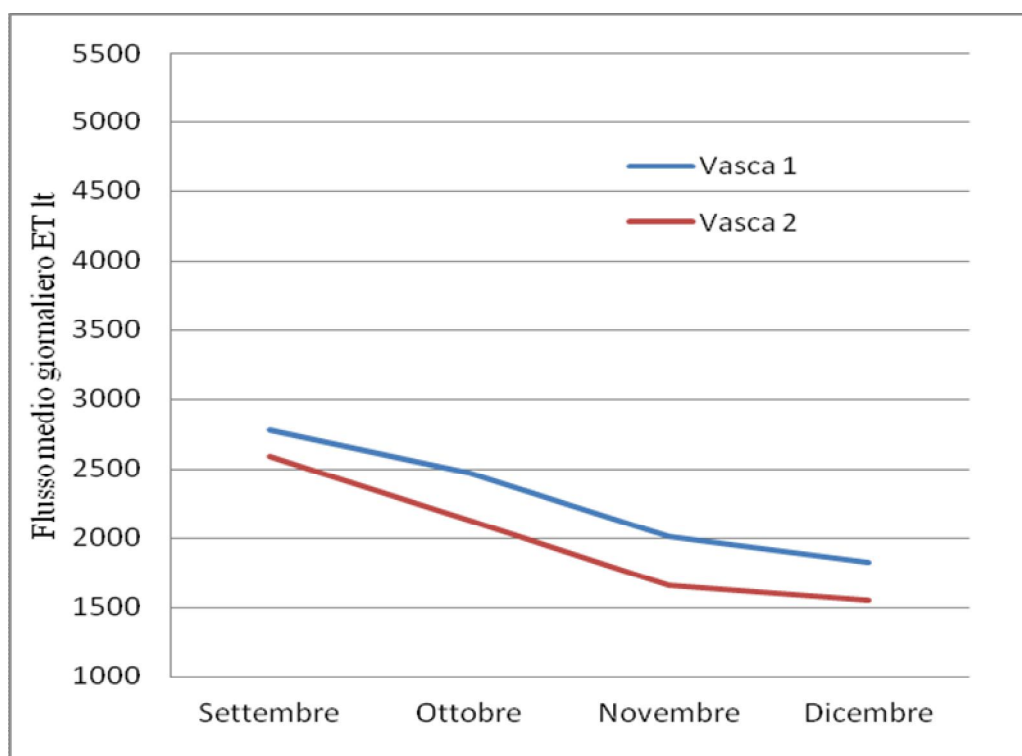


**Grafico 6.7 Valori lt/g di refluo ET dalla vasca 1 e vasca 1**

Riportando questi valori su una curva di tendenza (Grafico 6.8 e grafico 6.9), si può notare che le curva hanno un andamento ascendente fino al mese di Luglio (grafico 6.8), mentre dal mese di Settembre decresce gradualmente (grafico 6.9); Con ciò si evince che la capacità evapotraspirativa del sistema a vasche, segue l'andamento della curva dell'evapotraspirazione potenziale e della temperatura.

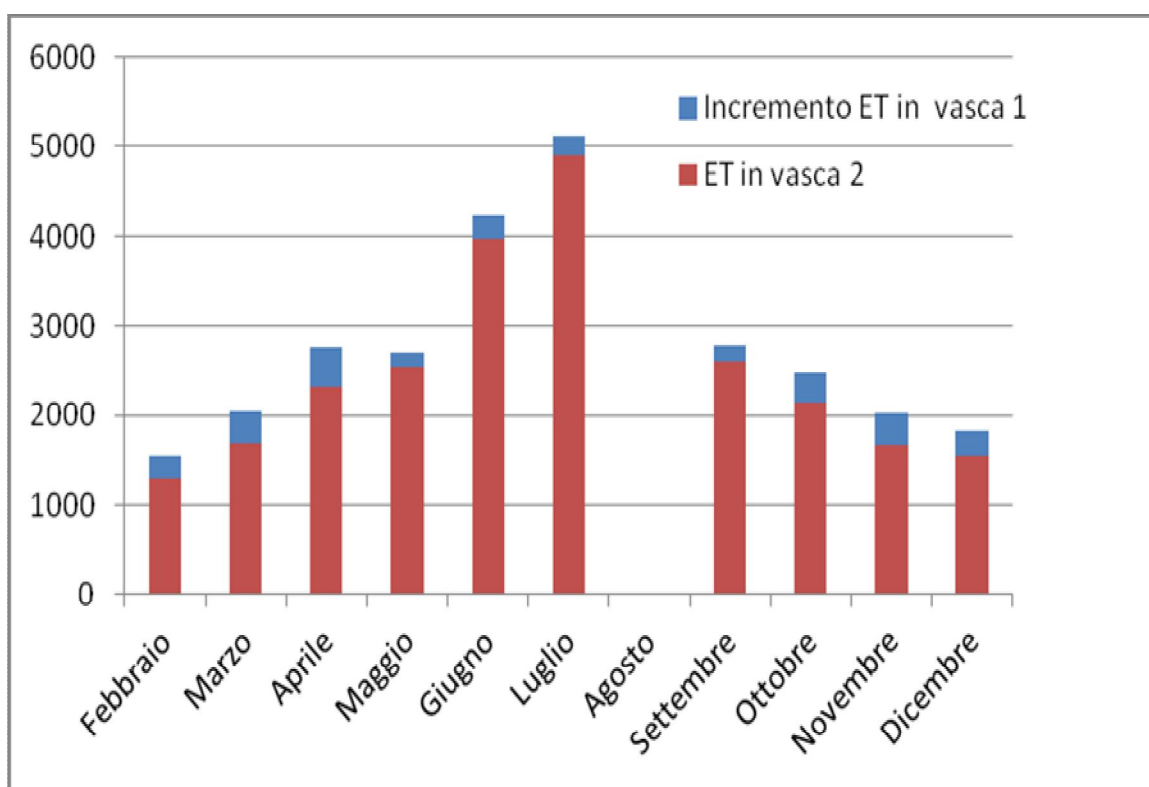


**Grafico 6.8** Curva tendenza del flusso giornaliero ET vasca 1 e 2 dal mese di Febbraio al mese di Luglio



**Grafico 6.9** Curva tendenza del flusso giornaliero ET vasca 1 e 2 dal mese di Settembre al mese di Dicembre

Da una prima analisi, notiamo che le due curve non si incontrano mai, ma quello che risalta più all'occhio è che la distanza tra le due curve è più accentuata nei mesi invernali-autunnali, mentre nei mesi estivi le due curve tendono ad avvicinarsi. Ciò vuol dire che l'incremento della ET dovuta applicazione di una *greenhouse*, è più alto nei periodi con minore capacità evapotraspirativa (Grafico 6.10).



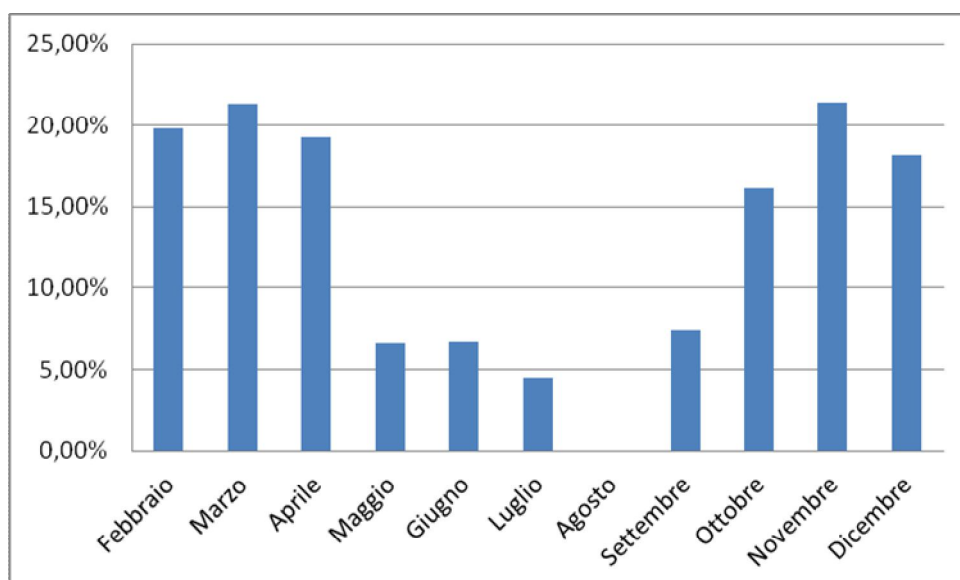
**Grafico 6.10 Valori in Lt/g medio mensile di ET vasca 2 con evidenziato l'incremento della vasca greenhouse (vasca 1)**

Andando a quantificare questa variazione di resa ET, ci siamo calcolati qual è la variazione % dell'incremento della capacità ET della vasca 1 rispetto alla vasca 2 (Tabella 6.4).

Mese	VALORE MEDIO VASCA 1 litri/giorno	VALORE MEDIO VASCA 2 litri/giorno	Incremento % ET Vasca 1 rispetto alla Vasca 2
Gennaio	\	\	
Febbraio	1543	1288	19,80%
Marzo	2052	1692	21,30%
Aprile	2765	2318	19,30%
Maggio	2699	2531	6,60%
Giugno	4227	3962	6,70%
Luglio	5121	4902	4,50%
Agosto	0	0	
Settembre	2782	2591	7,40%
Ottobre	2477	2134	16,10%
Novembre	2017	1662	21,40%
Dicembre	1829	1547	18,20%

**Tabella 6.4 Valori incremento % vasca 1**

Si nota che le percentuali sono più elevati nei periodi inverno-autunno con valori massimi di 21,3 %, 21,4 % rispettivamente nei mesi di Marzo e Novembre, e minimi nella stagione estiva, con valori che si aggirano intorno al 4,5 % a Luglio. (Grafico 6.11)



**Grafico 6.11 % di incremento ET vasca 1 rispetto al totale ET vasca 2**

Confrontando questi valori con l'andamento delle precipitazioni (Tabella 6.1), si nota che le percentuali più alte dell'incremento della resa, coincidono con i mesi che registrato massime precipitazioni, mentre il valore minimo coincide con il mese a minire precipitazione.

La variazione di ET in natura può essere influenzata da vari fattori quali le precipitazioni, temperatura, vento, ecc; Dai dati ricavati, si può dedurre che le precipitazioni incidono in maniera rilevante sulla capacità ET del sistema.

I valori presi in esame per il calcolo dell'incremento % di resa ET, sono valori medi mensili di un periodo abbastanza ampio con dati non omogenei in quanto, nell'arco del mese di riferimento, si possono verificare condizioni diverse che vanno ad incidere più o meno positivamente sulla capacità e sulle resa ET.

Andando ad esaminare un periodo abbastanza ristretto (qualche giorno) ed il più possibile omogeneo per quanto riguarda precipitazioni e temperatura, possiamo indicativamente individuare un valore preciso di  $\Delta\%$ , sia per la stagione sfavorevole, che per quella favorevole all'ET.

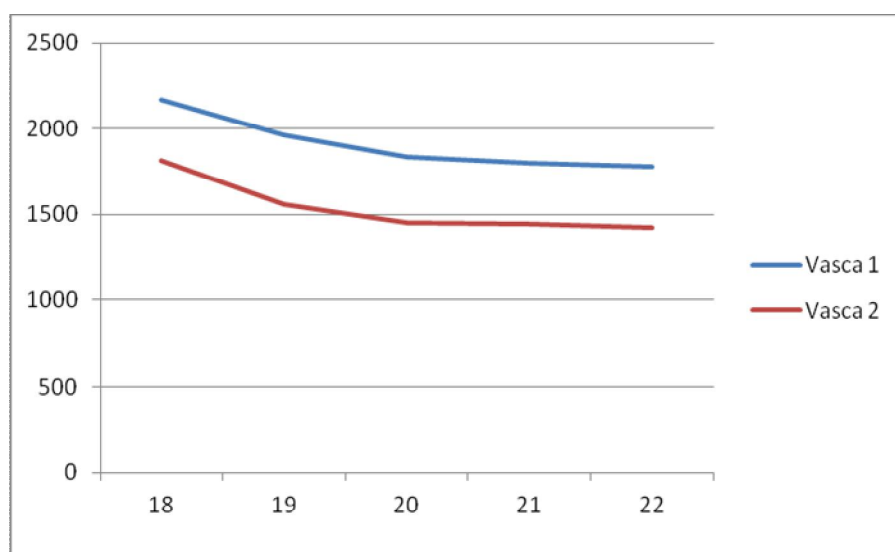
Sono stati individuati due periodi; il primo ricadente all'interno del mese di Novembre ed il secondo nel mese di Luglio, dove si sono registrati i valori rispettivamente più alti e più bassi dell' $\Delta$  dell'efficienza evapotraspirativa del sistema *Greenhouse ET*.

Per quanto riguarda l'osservazione dei dati nel mese di Novembre, sono stati esaminati i valori racchiusi dal 18 al 22, dove si sono registrate precipitazioni abbondanti e costanti, con temperature media giorno di 10,9 °C.

Giorno Campione	Flusso ET Vasca 1 lt/g	Flusso ET Vasca 2 lt/g	Delta Incremento ET	% Incremento ET
18	2171	1812	359	19,824
19	1965	1557	408	26,185
20	1834	1450	384	26,495
21	1802	1443	359	24,900
22	1782	1423	359	25,198
Valore medio				24,520

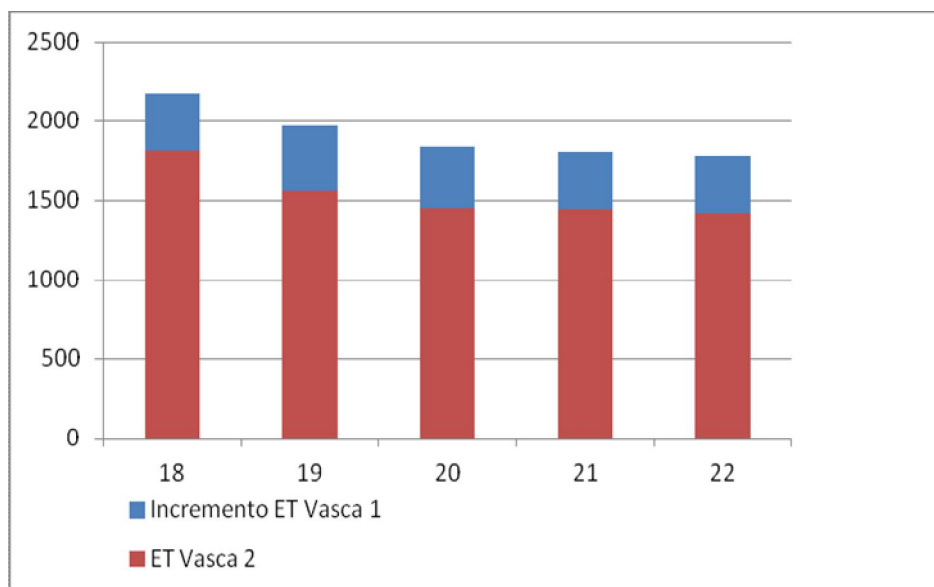
**Tabella 6.5 Valori ET flussi dal 18 al 22 Novembre Vasca 1 e 2**

Dall'analisi dei dati riferiti al periodo in esame (Tabella 6.5), si nota che l'incremento medio riferito ai 5 giorni di riferimento è del 24,5 %, con punte anche al di sopra del 26% (Grafico 6.14). In queste condizioni particolari di abbondanti precipitazioni, si registrano elevati valori di incremento dell'efficienza del sistema.



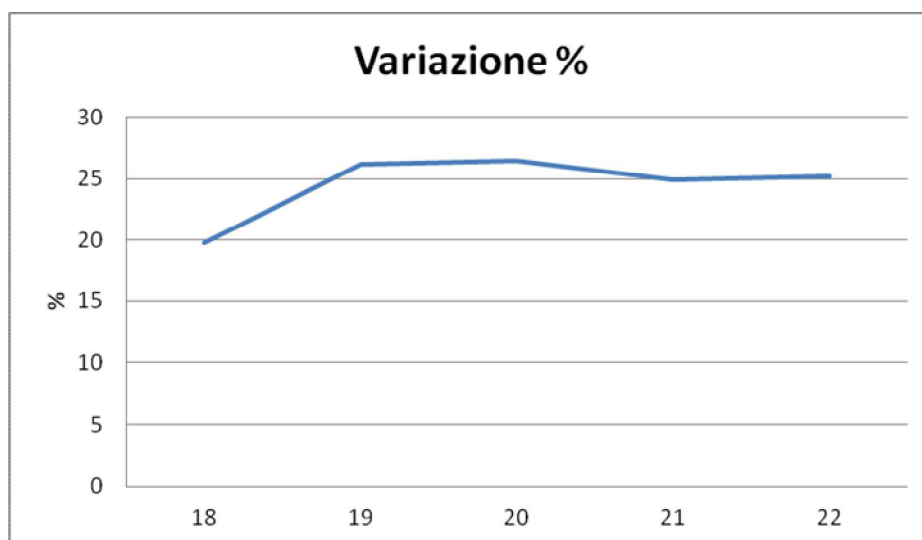
**Grafico 6.12** Curva tendenza del flusso giornaliero ET vasca 1 e 2 nel periodo 18-22

**Novembre**



**Grafico 6.13** Valore di ET vasca 2 dell'incremento dovuta dalla Greenhouse  
nel periodo 18-22 Novembre

Questo valore elevato di  $\Delta$  è legato al fatto che in queste particolari condizioni, le vasche “convenzionali” riducono sensibilmente la capacità ET.



**Grafico 6.14** Variazione della % dell'incremento ET nel periodo 18-22 Novembre



Per il periodo di Luglio, sono stati presi i valori che vanno dal giorno 22 al giorno 31, periodo dove si sono registrate precipitazioni nulle e temperature media giorno di 25,2 °C.

Il dato del  $\Delta$  ET è stato preso in riferimento a due giornate consecutive in quanto nel mese di Giugno e Luglio, il PLC (che gestisce il sistema) è stato programmato in modo da convogliare il flusso solo nella vasca 1 o 2 a giorno alternati, di conseguenza non è possibile il calcolo della variazione del refluo immesso nella singola vasca riferita allo stesso giorno solare, ma abbiamo fatto riferimento a due giorni consecutivi, dove le condizioni meteorologiche sono pressoché simili, quindi il dato risulta attendibile.

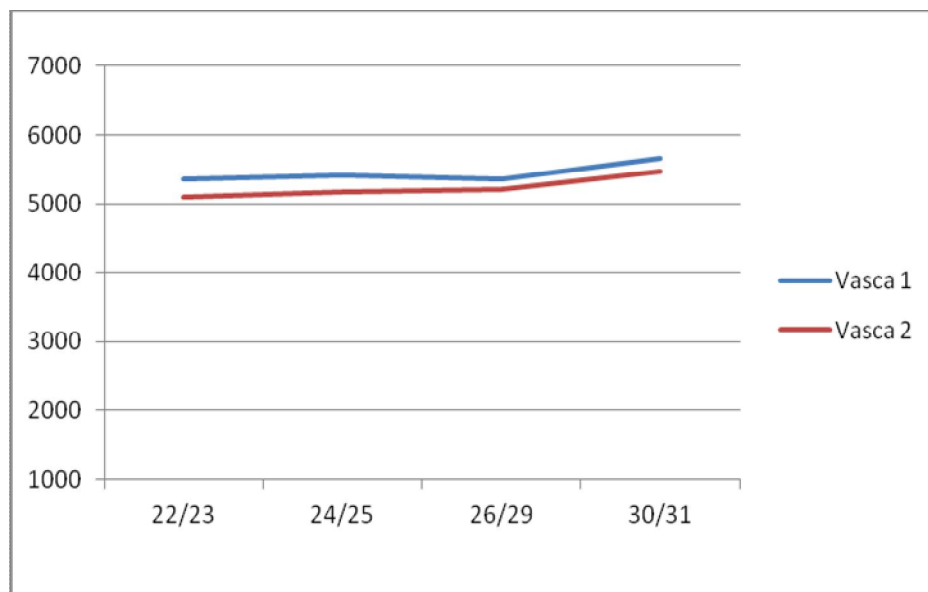
Giorno Campione	Flusso ET Vasca 1 lt/g	Flusso ET Vasca 2 lt/g	Delta incremento ET	% incremento ET
22/23	5356	5094	262	5,143
24/25	5427	5174	253	4,890
26/29	5360	5204	156	2,998
30/31	5670	5474	196	3,581

Valore medio 4,153 %

□

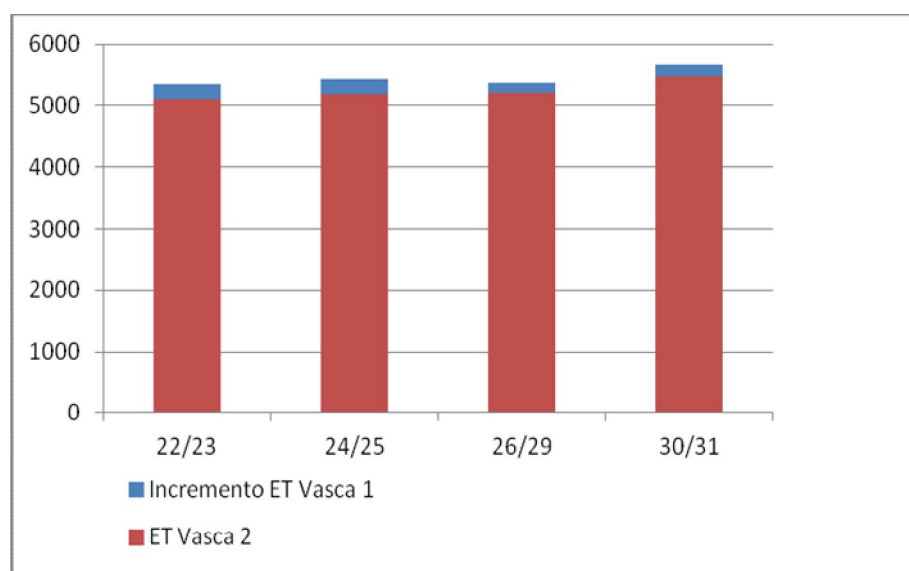
**Tabella 6.6 Valori ET flussi dal 22 al 31 Luglio Vasca 1 e 2**

Dai valori riportati in Tabella 6.6, si evidenzia un aumento dell'attività ET con valore medio di 4,15% e valori minimi del 2,99%. (Grafico 6.17)

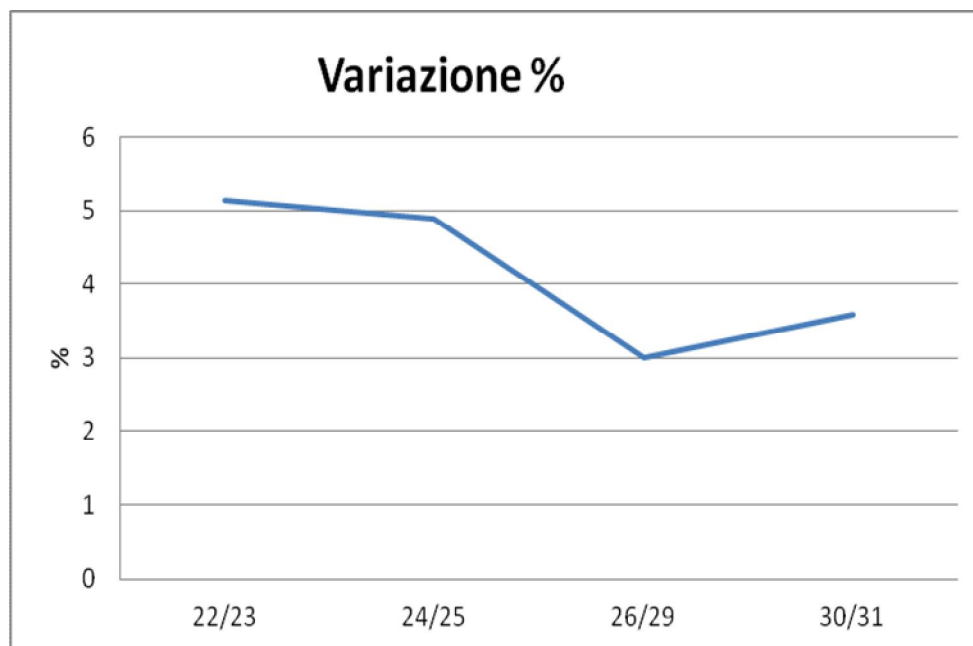


**Grafico 6.15** Curva tendenza del flusso giornaliero ET vasca 1 e 2 nel periodo 22-31 Luglio

Con ciò si dimostra che nei periodi a forte ET, in un sistema integrato a serra, l'incremento di efficienza è molto ristretto, dovuto al fatto che si possono verificare internamente alla serra condizioni, si migliorative, ma non significative.



**Grafico 6.16** Valore di ET vasca 2 dell'incremento dovuta dalla Greenhouse nel periodo 22-31 Luglio



**Grafico 6.17** Variazione della % dell'incremento ET nel periodo 22-31 Luglio

# Capitolo 7

## 7 Conclusioni

In questa ricerca sono state analizzate le caratteristiche costruttive, di dimensionamento e funzionamento di un impianto ad evapotraspirazione totale e per mezzo di tutte le informazioni dei dati sopra esposti, si può affermare che gli obiettivi prefissati sono stati centrati con risultati più che soddisfacenti.

Le principali conclusioni del presente lavoro derivano:

- dall'analisi delle caratteristiche costruttive, di dimensione, manutenzione e funzionamento dei vassoi assorbenti;
- dall'analisi delle misure dei flussi evapotraspirati.

Nel paragrafo 1.6 è stato esposto l'obiettivo principale della presente ricerca, che si prefissava di quantificare il miglioramento della resa depurativa. Alla luce dei valori ricavati, si può affermare che un impianto di ET integrato con *Greenhouse ET System*, migliora la capacità di smaltire il refluo domestico di un valore prossimo al 20%.

Per arrivare ad affermare questo dato, i valori presi come riferimento sono quelli riferiti alla situazione peggiorativa che si è registrata nel mese di Febbraio 2013, dove si è avuto un incremento della prestazione evapotraspirativa del vasoio integrato, del 19.8 %. Rispetto al 21,4 % registrato nel mese di Novembre, è inferiore, ma considerando che nel mese di Febbraio si è registrato il più basso valore di ET da parte del vasoio "convenzionale" e considerando che le dimensioni dell'impianto hanno sopportato in

maniera ottimale questa ridotta capacità depurativa, si prende come valore di riferimento 19,8%.

Considerando che l'impianto oggetto della presente ricerca si trova a funzionare nello stato di massimo regime, cioè non può sopportare ulteriori carichi idraulici dovuti ad un aumento di A.E., attraverso la realizzazione di un greenhouse ET system, l'impianto esistente potenzialmente potrebbe avere un incremento dell'apporto di carico idraulico di ulteriori 5 A.E., che rapportato in numero di dipendenti, l'impianto può sopportare un incremento di forza lavoro pari a 20 lavoratori.

In conclusione si può affermare che con un sistema integrato con serre, si ha un aumento della capacità evapotraspirativa con conseguente diminuzione della superficie dei vassoi, ma effettuando un'accurata analisi economica, molto probabilmente i costi di costruzione e manutenzione delle serre risulterebbero elevati, quindi l'adozione di questo tipo di impianto è auspicabile nei casi estremi in cui si hanno limiti di superficie, o nel caso in cui sono presenti vassoi esistenti e pertanto il sistema ipotizzato è l'unico modo di aumentare il carico idraulico.



# BIBLIOGRAFIA

- [1] ( Borin 2003,Cima R. 2007).
- [2] (Proceedings of 12th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Venice, October 4-8, 2010).
- [3] ( <http://it.wikipedia.org/wiki/Depurazione>)
- [4] (Borin 2003, Albuzio A. 2007)
- [5] (Fitodepurazione, Gestione sostenibile delle acque, F. Romagnolli)
- [6] (Borin, Tocchetto, 2007).
- [7] Guida tecnica per la progettazione dei sistemi di fitodepurazione (DCF 5 aprile 2012 – Doc. n. 11/12 – CF)
- [8] (Borin 2003)
- [9] (<http://soco.jrc.ec.europa.eu/documents/ITFactSheet-07.pdf>)
- [10] (Fitodepurazione, Gestione sostenibile delle acque, F. Romagnolli)
- [11] Documento tecnico “Caratteristiche tecniche degli impianti di fitodepurazione, degli impianti a ..... adottato dalla Regione Lazio con DGR 219 del 13 maggio 2011
- [12] L’evapotraspirazione come sistema di smaltimento acque reflue (C. Barrella; G. Grillo)
- [13] Depurazione delle acque di piccole comunità (Masotti e Verlicchi, 2005)
- [14] [www.arsial.it](http://www.arsial.it)
- [15] Masi F. (2001). *Fitodepurazione: descrizione di impianti esistenti e risultati ottenuti. In: Atti del corso di formazione su Progettazione e gestione di sistemi di fitodepurazione e lagunaggio di acque reflue urbane per il riutilizzo agricolo*, CSEI Catania, Acireale (CT), 22-26 ottobre.
- [16] Masi F. (2006). *Fitodepurazione delle acque*, Vigne Vini, pp 75-77 vol. 8.
- [17] Masotti L., Verlicchi P., 2005. *Depurazione delle acque di piccole comunità*

*Tecniche naturali e tecniche impiantistiche*. Hoepli, Milano.

- [18] Barrella C., Grillo G., 2006. *L'evapotraspirazione come sistema di smaltimento delle acque reflue*. Geva, Roma.
- [19] Fratticci, 2007. *Manuale di evapotraspirazione. Progettazione e calcolo di impianti ad evapotraspirazione*. Fratticci Anna Riequilibrio Ambientale srl.
- [20] ANPA, 2001a. Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane. ANPA, Roma.
- [21] Perrone E., 2007. Analisi comparativa del fenomeno di evapotraspirazione nei sistemi di fitodepurazione a flusso subsuperficiale. Tesi di Laurea. Università di Pisa, p. 90.
- [22] A.A.V.V., Guida ai processi estensivi di depurazione delle acque reflue specifici per piccoli-medi insediamenti (500-5.000 A.E.), Ufficio delle Pubblicazioni ufficiali delle Comunità Europee, Lussemburgo, 2001.
- [23] A.A.V.V., Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane, Manuali e Linee Guida, ANPA; 2001;
- [24] Avolio F., Pineschi G., La depurazione naturale delle acque. I sistemi di fitodepurazione per il trattamento delle acque reflue, Collana I quaderni de La Gramigna-8, 2008;
- [25] Masotti L. e Verlicchi P., "Depurazione delle acque di piccole comunità – Tecniche naturali e tecniche impiantistiche", Ed. Hoepli, Milano, Italia 2005
- [26] Vismara R., Egaddi F., Garuti G., Pergetti M., Pagliughi A., Linee guida per il dimensionamento degli impianti di fitodepurazione a macrofite radicate emergenti: gli esempi internazionali ed una proposta italiana, Ingegneria Ambientale, Italy, vol. 29, 3-4, pp. 164-176, 2000
- [27] Atti della 12 th International Conference on Wetland System for Water Pollution Control, Venezia, 4-8 ottobre 2010